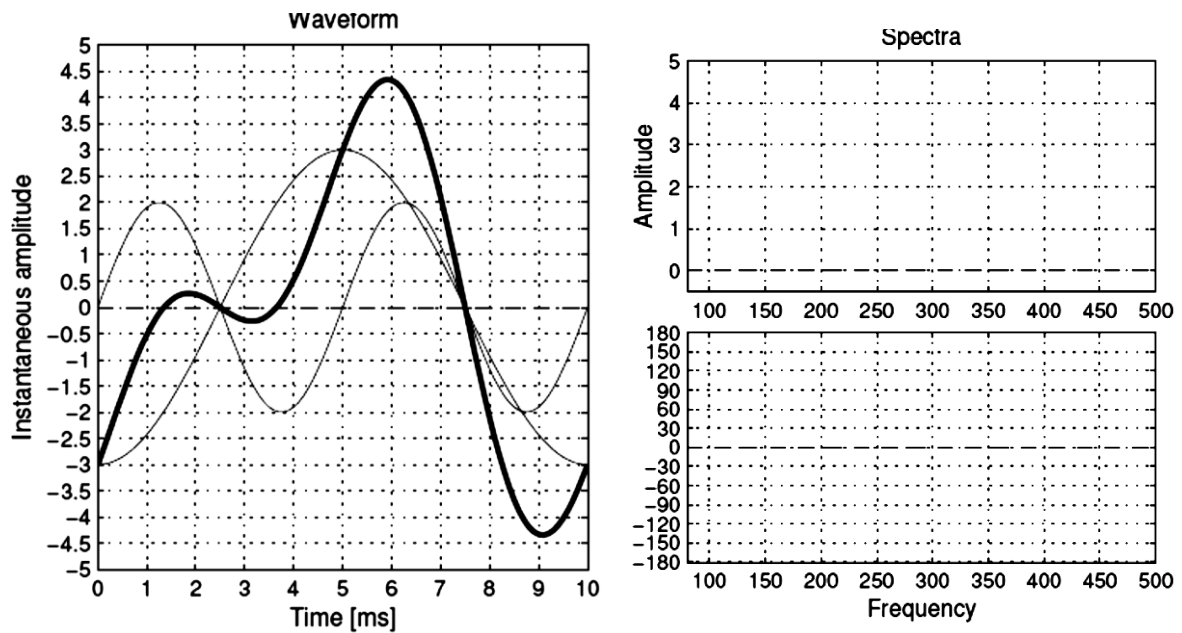
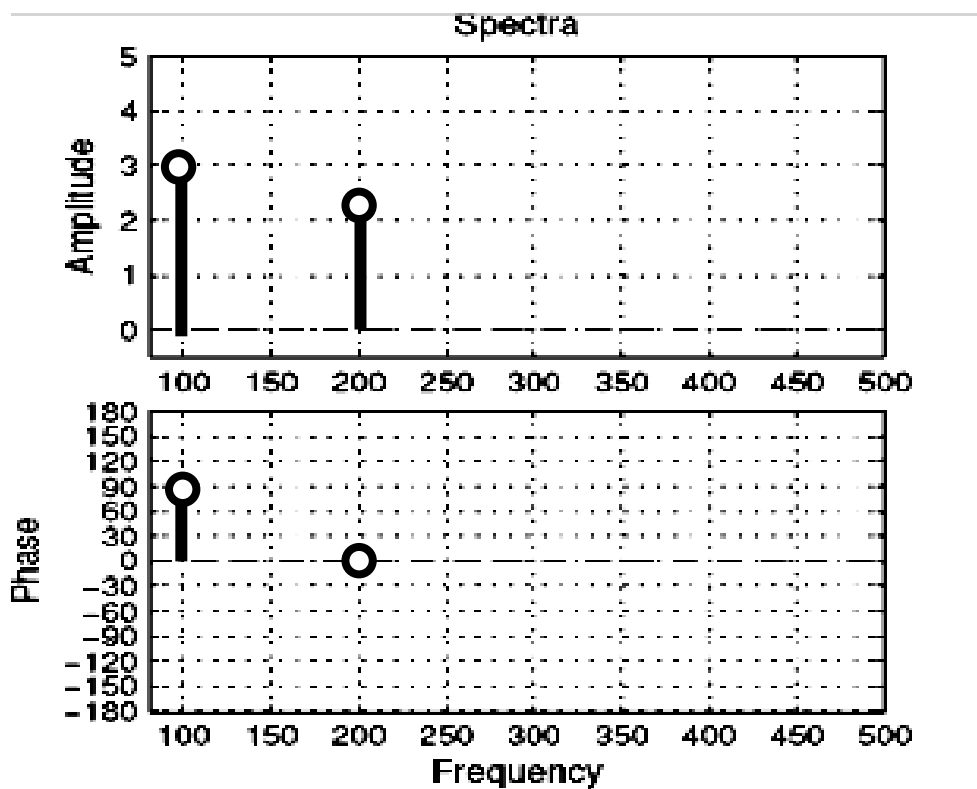


ΑΣΚΗΣΗ



Αριστερά, φαίνεται κυματομορφή (με έντονη γραμμή) που προκύπτει από υπέρθεση 2 ημιτόνων (με λεπτή γραμμή). Δεξιά, σχεδιάστε το φάσμα που αντιστοιχεί στην σύνθετη κυματομορφή.

ΛΥΣΗ



ΑΣΚΗΣΗ

(α) Για τις παρακάτω ηχητικές συνθήκες, προσδιορίστε κατά προσέγγιση μια ρεαλιστική τιμή για την παραγόμενη ηχοστάθμη και ακουστική πίεση στο 1m (στις κατάλληλες μονάδες).

- (1) Κατώφλι ακοής (να οριστεί και η συχνότητα)
- (2) Θόρυβος δωματίου
- (3) Ομιλητής
- (4) Θόρυβος μέσα σε αυτοκίνητο
- (5) Συναυλία μουσικής rock

Αν για το θόρυβο μέσα στο αυτοκίνητο προστεθεί το σήμα από τον ομιλητή (όπως ορίσατε στο (3)), ποια θα είναι η συνολική ηχοστάθμη;
Να δοθεί η μαθηματική σχέση που θα συσχετίζει τα φάσματα των 2 αυτών ήχων με το σήμα που προκύπτει από την άθροιση τους

(β) Αν οι παραπάνω ηχητικές συνθήκες (2) – (5) μετρηθούν σε ζώνες 1/3 οκτάβας να ορίσετε αν οι τιμές σε κάθε ζώνη θα είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από αυτή που δώσατε σαν απάντηση στο (α).

Να γράψετε τον λόγο που πιστεύετε ότι μια τέτοια μέτρηση θα είναι χρήσιμη
Να σχεδιάσετε το δομικό διάγραμμα (block diagram) ενός ηχομέτρου που υλοποιεί τέτοιες μετρήσεις

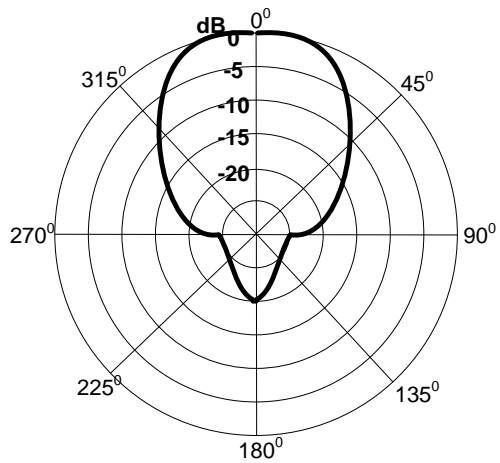
ΛΥΣΗ

(α) ενδεικτικές απαντήσεις:

- (1) 0 dB @ 4 KHz
- (2) 40 dBA
- (3) 65 dBA
- (4) 75 dBA
- (5) 105 dBA

ΑΣΚΗΣΗ

Στα σχήμα δίνεται πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας για ηχείο κόρνας στο 1KHz. Αν το ηχείο παράγει ηχοστάθμη 90 dB / 1m (στον άξονα) να υπολογισθεί η ηχοστάθμη που θα παράγει στα 10m και σε γωνία 45° και σε γωνία 90° .



ΛΥΣΗ

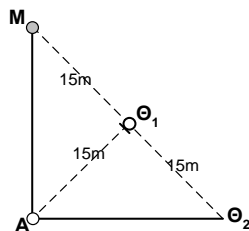
Χρησιμοποιούμε:

$$L_{pr,\theta} = L_{p1,\theta=0} - 20 \log (r) - b(\theta)$$

ΑΣΚΗΣΗ

Σε ανοιχτό εργοτάξιο, λειτουργεί στη Θέση Μ (Σχήμα) μηχανή ηχοστάθμης 86 dB SPL/1m, με παντοκατευθυντική εκπομπή και φάσμα θορύβου που πάνω από τα 62,5 Hz εμφανίζει πτώση στάθμης κατά 6 dB/οκτάβα. Ένας εργάτης στη Θέση Α (Σχήμα 3) δίνει οδηγίες με στάθμη φωνής 80 dB SPL/1m και παντοκατευθυντική εκπομπή. Στη Θέση Θ₁, τοποθετείται καρδιοειδές κατευθυντικό μικρόφωνο στάθμης ευαισθησίας -40 dB (ref. 1 V/Pa).

- (α) να υπολογισθεί για τη συχνότητα του 1 KHz, ο λόγος Σήματος προς Θόρυβο, του σήματος στην έξοδο του μικροφώνου.
- (β) Αν η αντίσταση του μικροφώνου είναι 200Ω, να υπολογισθεί η τάση ανοιχτού κυκλώματος που θα παράγει το κάθε μικρόφωνο.

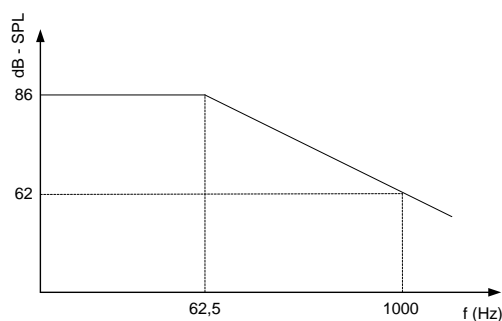


ΛΥΣΗ

(α) Στη συχνότητα 1KHz (4 οκτάβες κάτω από τα 62,5Hz), η μηχανή παράγει 62 dB (βλέπε Σχήμα 3). Λόγω καρδιοειδούς απόκρισης του μικροφώνου (που λογικά θα είναι στραμμένο προς τη θέση Α και άρα κατά 90° ως προς τη θέση Μ), ισχύει:

$$D = 20\log(0.5(1 + \cos 90^\circ)) = 20\log 0.5 = -6dB$$

$$\text{Άρα: } SNR = 80 - 20\log r - (62 - 6 - 20\log r) = 24dB$$



(β) Και στις 2 περιπτώσεις, στο μικρόφωνο φτάνουν 56,5dB από τον ομιλητή και 32,5 dB από τη μηχανή. Η τάση που παράγεται από τον ομιλητή είναι:

$$-40 dBV - 94 dB + 56,5 dB-SPL = -77,5 dBV, \text{ άρα } V_{out} = 13 mV$$

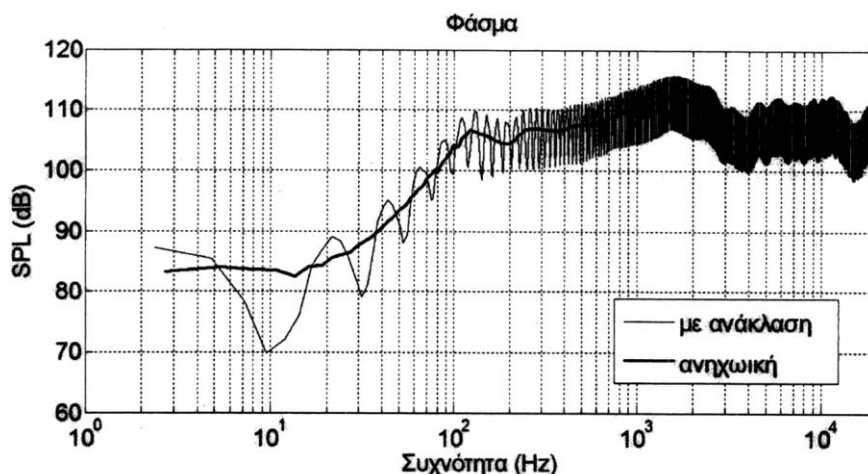
Η τάση που παράγεται από τη μηχανή είναι εξαιρετικά μικρή:

$$-40 dBV - 94 dB + 32,5 dB-SPL = -101,5 dBV, \text{ άρα } V_{out} = 10 nV$$

οπότε η συνολική τάση εξόδου είναι περίπου **13 mV**.

ΑΣΚΗΣΗ

- (α) Περιγράψτε τη διαδικασία μέτρησης απόκρισης συχνότητας μεγαφώνου/ηχείου κάτω από **μη ανηχωικές** συνθήκες.
- (β) Στο Σχήμα δίνεται το φάσμα ανηχωικής μέτρησης στο 1 m (με έντονη γραμμή). Αν το ηχείο τροφοδοτείται με 20 watt να υπολογισθεί η στάθμη ευαισθησίας του ηχείου.
- (γ) Ποια επεξεργασία είναι απαραίτητη, ώστε σε κρουστική απόκριση μέτρησης ηχείου με ανάκλαση, να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση από ανάκλαση. Ποιά θα είναι η επίπτωση τέτοιας επεξεργασίας στο φάσμα της απόκρισης;
- (δ) Στο φάσμα φαίνεται και η απόκριση του ηχείου όταν εμπεριέχει ανάκλαση από το πάτωμα. Να υπολογισθεί το ύψος τοποθέτησης του ηχείου



ΛΥΣΗ

- (α) Βλέπε σημειώσεις Εργαστηριακής Άσκησης 3 και Σημειώσεις Η/Α.
- (β) Στάθμη ευαισθησίας (SW) ορίζεται η παραγόμενη ηχοστάθμη (SPL) σε απόσταση 1m, με τροφοδοσία 1 Watt, σε συχνότητα 1KHz. Άρα, από το Σχήμα της Άσκησης προκύπτει ότι:

$$L_p = SW + 10\log W, \text{ οπότε } SW = SPL - 10\log W = 110 - 10\log(20) = 97\text{dB}$$

(γ) Θα πρέπει να επιλεγεί με χρονικό παράθυρο το τμήμα της απόκρισης πριν την ανάκλαση. Το παράθυρο αυτό θα απορρίψει τα μεγάλα μήκη κύματος της απόκρισης που αντιστοιχούν σε χαμηλές συχνότητες. Έτσι, ένα τμήμα χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος που θα προκύψει (απόκριση συχνότητας του ηχείου) θα είναι προϊόν προσέγγισης και δεν θα μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο.

(δ) Στο μικρόφωνο προσπίπτει το απευθείας σήμα, και μετά κάποιο χρονικό διάστημα τ η ανάκλαση από το δάπεδο. Η κρουστική απόκριση του συστήματος (ανακλαστικό δάπεδο – ηχείο) είναι:

$$h(t) = [\delta(t) + a \times \delta(t-\tau)] * h_L(t)$$

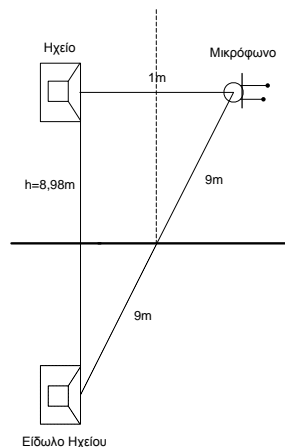
όπου $h_L(t)$ είναι η κρουστική απόκριση του μεγαφώνου και a ο συντελεστής ανάκλασης του δαπέδου.

Το φάσμα που προκύπτει από την παραπάνω κρουστική απόκριση είναι:

$H(\omega) = H_L(\omega) \cdot (1 + ae^{-j\omega\tau})$, όπου $H_L(\omega)$ το φάσμα του μεγαφώνου. Το μέτρο του φάσματος είναι:

$$\begin{aligned} |H(\omega)| &= |H_L(\omega)| \cdot |1 + ae^{-j\omega\tau}| = |H_L(\omega)| \cdot \sqrt{(1 + a \cos \omega\tau)^2 + (a \sin \omega\tau)^2} \\ &= |H_L(\omega)| \cdot \sqrt{1 + 2a \cos \omega\tau} \end{aligned}$$

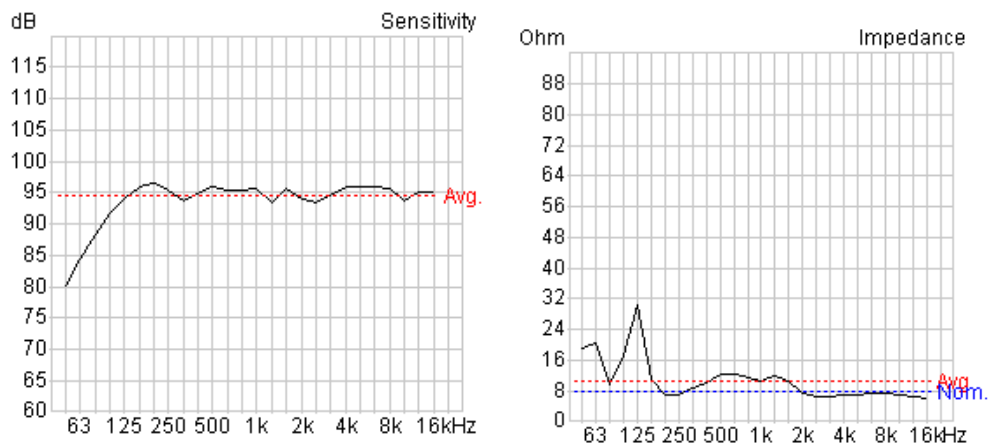
Η διακύμανση τύπου «κτένας» (comb filter) που φαίνεται στο μέτρο του φάσματος με ανάκλαση (Σχήμα 1), οφείλεται συνεπώς στον όρο $\sqrt{1 + 2a \cos \omega\tau}$, που γίνεται μέγιστο όταν $\omega\tau = 2k\pi$, όπου $k = 1, 2, \dots$. Το πρώτο μέγιστο είναι σε συχνότητα 20Hz, δηλαδή $20 \cdot 2\pi\tau = 2\pi$, άρα $\tau = 50\text{msec}$. Συνεπώς η καθυστέρηση μεταξύ των αφίξεων απ' ευθείας σήματος και ανάκλασης είναι 50msec, που αντιστοιχεί σε απόσταση 17m. Το μήκος διαδρομής της ανάκλασης είναι συνεπώς $17+1 = \mathbf{18m}$. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα, το ύψος του ηχείου h είναι περίπου **8,98m**.



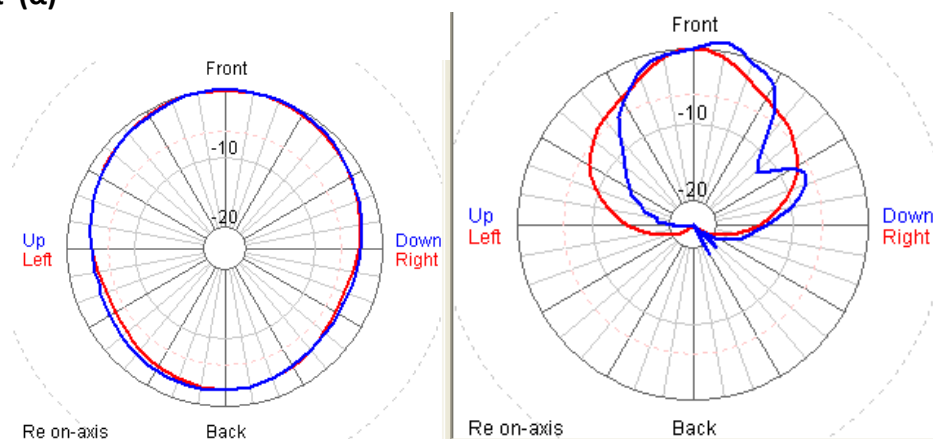
ΑΣΚΗΣΗ

Δίνεται ηχείο 2 δρόμων με χαρακτηριστικά που δίνεται στο **Σχήμα**.

Τα διαγράμματα κατευθυντικότητας για τις συχνότητες των 250Hz και 4KHz δίνονται στα **Σχήματα (β) και (γ)**



Σχήμα (α)



Σχήμα (β) 250Hz

Σχήμα (γ) 4KHz

(α) Να υπολογισθεί η ηχοστάθμη που θα μετρηθεί σε απόσταση 10 m από το ηχείο στο ελεύθερο πεδίο και σε γωνία 60° στις συχνότητες 250Hz και 4KHz όταν αυτό οδηγηθεί με σήμα λευκού θορύβου τάσης (σταθερής με τη συχνότητα) 10Vrms.

(β) σε ποια γωνία θα μεγιστοποιηθεί η διαφορά στην ηχοστάθμη εκπομπής στο οριζόντιο και κάθετο επίπεδο;

ΛΥΣΗ

Επειδή $P = V^2/R$, και για τη Στάθμη Ευαισθησίας (εδώ 95dB/W/m) διαβάζοντας την ονομαστική τιμή της εμπέδισης του ηχείου (εν προκειμένω 8 Ω) ο ενισχυτής θα πρέπει να δίνει στην έξοδό του 2.82 V rms (που αντιστοιχεί σε 1 W τροφοδοσία).

Τώρα, η ισχύς τροφοδοσίας θα είναι $P = 100/8 = 12.5$ Watt, οπότε στο 1m και επί του άξονα η ηχοστάθμη θα είναι:

$$L_p = 95 + 10\log(12.5) = 95 + 10.96 = 105.96 \text{ dB}$$

Στα 10m επί του άξονα η ηχοστάθμη θα είναι $L_p = 105.96 - 20\log 10 = 85.96\text{dB}$

Οπότε για γωνία 60° στις συχνότητες 250Hz και 4KHz προκύπτει η διαφορά που εμφανίζουν τα αντίστοιχα πολικά διαγράμματα.

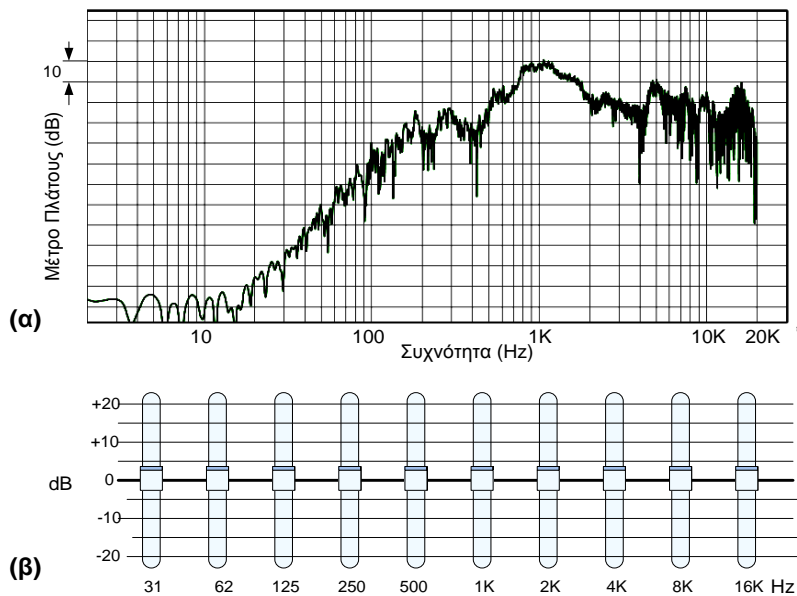
ΑΣΚΗΣΗ

Η απόκριση συχνότητας μικρού εσωτερικού ηχείου φορητού υπολογιστή δίνεται στο **Σχήμα (α)**. Στο **Σχήμα (β)** δίνονται τα ρυθμιστικά ισοσταθμιστή που τρέχει ως εφαρμογή στον Η/Υ.

(α) πως ονομάζεται ένας τέτοιος ισοσταθμιστής, ποια είναι η συχνотική ευκρίνεια που εμφανίζει και πως θα μπορέσετε να τον αξιοποιήσετε κατά την ακρόαση μουσικής από τον υπολογιστή;

(β) Στο **Σχήμα (β)**, να σχεδιάσετε την ιδανική διορθωτική ρύθμιση του ισοσταθμιστή

(γ) να καταγράψετε και να αναλύσετε τουλάχιστο 2 καθοριστικούς λόγους που μια τέτοια υλοποίηση δεν θα επέτρεπε την πλήρη ισοστάθμιση του συστήματος



Σχήμα

ΛΥΣΗ

ΑΣΚΗΣΗ

Ένας κλειστός παραλληλεπίπεδος χώρος έχει διαστάσεις $l_x=10\text{m}$, $l_y=4\text{m}$, $l_z=3\text{m}$, και πριν τη χρήση του είναι από μπετόν (μέση απορρόφηση $\bar{\alpha} = 0,1$).

(α) να υπολογισθούν οι 3 πρώτες συχνότητες των ακουστικών συντονισμών του χώρου. Με ποιο τρόπο δημιουργούνται οι συντονισμοί αυτοί;

$$\text{Δίνεται } f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2}, \text{ όπου } n_x, n_y, n_z \text{ ακέραιοι}$$

(β) ηχοαπορροφητικά πλαίσια μπορούν να απορροφήσουν τέτοιους συντονισμούς αν αναρτώνται σε απόσταση $\lambda/4$ (m) από τον τοίχο, όπου λ είναι το μήκος κύματος της συχνότητας συντονισμού. Αν η μέγιστη διαθέσιμη απόσταση από τον τοίχο είναι 0,5 m να υπολογισθεί η χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας των πλαισίων. Θα μπορούν να απορροφήσουν κάποιον από τους 3 αυτούς συντονισμούς;

(γ) Εάν διατίθεται υλικό με απορρόφηση $\bar{\alpha} = 0,9$ (για ψηλότερες συχνότητες), να βρεθεί πόσα τετραγωνικά μέτρα από αυτό το υλικό θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, ώστε ένας ομιλητής (παντοκατευθυντική πηγή) να παράγει κατανοητή ομιλία για μέγιστη απόσταση πηγής-δέκτη τα 8 m. Που θα τοποθετούσατε αυτό το υλικό;

(δ) να περιγραφεί με την βοήθεια διαγραμμάτων, η διαδικασία μέτρησης και ανάλυσης της ακουστικής της παραπάνω αίθουσας, και να περιγραφούν τα αλγοριθμικά βήματα για τον υπολογισμό από μία τέτοια μέτρηση της τιμής του Χρόνου Αντήχησης και της Καταληπτότητας της αίθουσας.

ΛΥΣΗ

$$\text{(α) } f_{1,0,0} = \frac{340}{2} \sqrt{1/(10)^2} = 17\text{Hz}, \quad f_{0,1,0} = \frac{340}{2} \sqrt{1/(4)^2} = 42,5\text{Hz},$$

$$f_{0,0,1} = \frac{340}{2} \sqrt{1/(3)^2} = 56,66\text{Hz}$$

(β) Πρέπει $\lambda/4 \leq 0,5 \text{ m}$, άρα $\lambda \leq 2 \text{ m}$ και αφού $f_{\min} = c/\lambda = 340/2 = 170\text{Hz}$. Προφανώς δεν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απορρόφηση των 3 πρώτων συντονισμών.

$$\text{(γ) } S = 2 \times (3 \times 4 + 4 \times 10 + 3 \times 10) = 164 \text{ m}^2. \quad A = \bar{\alpha} S = 0,1 \times 164 = 16,4$$
$$V = 3 \times 4 \times 10 = 120 \text{ m}^3. \quad RT = (0,161 \times 120) / 16,4 = 1,178 \text{ sec.}$$

$$r_{\max} = 8 = \sqrt{\frac{15 \times V \times 1}{200 \times (RT_{\max})^2}} = \sqrt{\frac{15 \times 120 \times 1}{200 \times (RT_{\max})^2}}$$

$$\Rightarrow RT_{\max} = 0,375 \text{ sec}$$

$$RT_{\max} = 0,375 = (0,161 \times 120) / A_{\min} \text{ και άρα } A_{\min} = 51,52 = \bar{\alpha}' S_{\min} = 0,9 S_{\min}$$

Οπότε $S_{\min} = 57,24 \text{ m}^2$. Αρχικά το υλικό θα έμπαινε στην οροφή (40 m^2) και τα υπόλοιπα 17 m^2 θα μοιραζόταν στους 4 τοίχους.

(δ) δεξ Εργαστηριακή Άσκηση 4 της Η/Α.

ΑΣΚΗΣΗ

Ενισχυτής Τάξης Β αποδίδει μέγιστη ισχύ 120 W για ημιτονοειδές σήμα εισόδου $A_{in}\sin(\omega t)$ συχνότητας 1KHz, πλάτους A_{in} (Volts), σε ένα μεγάφωνο / ηχείο αντίστασης (μέτρο) $R_L = 4\Omega$ και στάθμης ευαισθησίας 93 dB/W/m. Ο ενισχυτής λειτουργεί με κέρδος $G = 20$ dB.

(α) να υπολογισθεί: (i) το μέγιστο πλάτος A_{out} (Volts) του σήματος στην έξοδο του ενισχυτή (ii) το πλάτος A_{in} (Volts) του σήματος στην είσοδο του ενισχυτή (iii) η ελάχιστη τάση V_s στις γραμμές τροφοδοσίας του σταδίου εξόδου

(β) με δεδομένο ότι η συνολική ισχύς που καταναλώνει ο ενισχυτής αυτός για τις παραπάνω συνθήκες δίνεται από τη σχέση $P_s = \frac{2V_s A_{out}}{\pi R_L}$ να υπολογισθεί: (i) η % μέγιστη απόδοση του ενισχυτή, (ii) η ισχύς που καταναλώνεται σε θερμότητα

(γ) (i) να υπολογισθεί η ισχύς που θα παράγει ο ενισχυτής εάν το φορτίο πάρει τιμή $R_L = 2\Omega$. (ii) εάν στην είσοδο εμφανισθεί μουσικό σήμα με μέγιστη τιμή πλάτους τα 3,8 Volts, να περιγραφεί η συμπεριφορά του ενισχυτή και οι πιθανές επιπτώσεις στο σήμα εξόδου. Περιγράψτε πιθανές συνθήκες όπου η λειτουργία θα είναι προβληματική για αυτό το φορτίο.

ΛΥΣΗ

$$\alpha) \text{ (i) Ισχύς στο φορτίο: } P_L = \frac{\overline{V_{out}^2}}{R_L} = \frac{A_{out}^2 \sin^2(\omega t)}{R_L} = \frac{A_{out}^2}{2R_L}$$

$$P_L \leq 120W \Rightarrow \frac{A_{out}^2}{8} \leq 120 \Rightarrow A_{out} \leq 30,98V$$

$$\text{(ii) } G = 20 = 20 \log \frac{A_{out}}{A_{in}} = 20 \log \frac{30,98}{A_{in}}$$

$$\Rightarrow A_{in} = 3,09V$$

$$\text{(iii) } V_s \geq A_{out} \Rightarrow V_s \rightarrow 31V$$

$$\beta) P_s = \frac{2V_s A_{out}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 31^2}{\pi \times 4} \cong 152,85W$$

$$\text{(i) Απόδοση (max) } \eta\% = \frac{P_L}{P_s} = \frac{120}{152,85} = 0,789 \Rightarrow (= 78,9\%)$$

$$\text{(ii) Ισχύς σε θερμότητα} = P_s - P_L = 152,85 - 120 = 32,85W$$

$$\gamma) \text{ (i) } P_L = \frac{A_{out}^2}{2 \times 2} \cong 240W$$

$$\text{(ii) } V_{in} = 3,8, \text{ άρα } V_{out} = 38 > V_s, \text{ άρα ψαλιδισμός}$$