ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

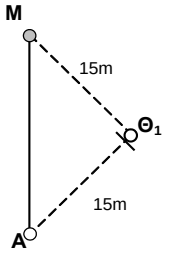
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – *Εισαγωγή*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1, 2 & 4

Σε ανοιχτό εργοτάξιο, λειτουργεί στη Θέση Μ (**Σχήμα**) μηχάνημα 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**) δίνει οδηγίες με στάθμη φωνής 80 dB SPL/1m και παντοκατευθυντική εκπομπή. Στη Θέση $Θ_1$, 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) να υπολογισθεί η τάση ανοιχτού κυκλώματος που θα παράγει το μικρόφωνο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - *Διάδοση, πηγές και μέτρηση ήχου*

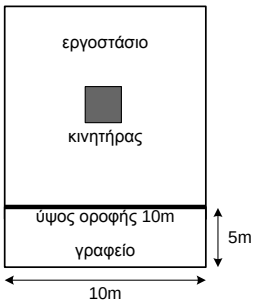
ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στους χώρους ενός εργοστασίου που απεικονίζονται στο **Σχήμα** λειτουργεί κινητήρας που παράγει θόρυβο στάθμης 100 dB-SPL στο 1m, με σταθερό μέτρο φάσματος από 0-100 Hz και μειούμενο με κλίση -6 dB/οκτάβα από τα 100 Hz και πάνω. Η ηχομείωση R, του τοίχου που διαχωρίζει τον χώρο που λειτουργεί ο κινητήρας από τον χώρο των γραφείων, είναι 15 dB για την συχνότητα 31.5 Hz και αυξάνεται με κλίση 3 dB/οκτάβα από την συχνότητα αυτή και μετά.

(α) Να σχεδιαστεί το μέτρο του φάσματος του θορύβου που φθάνει στον χώρο των γραφείων

(β) Θα είναι ικανοποιητική η ηχομείωση για την καταληπτότητα ομιλίας στο γραφείο; Για την κατανόηση θεωρήστε ότι στην περιοχή συχνοτήτων 1-2 kHz ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 dB. Θεωρήστε ότι η ομιλία έχει μέση στάθμη 65 dB-SPL.

Δίνεται ότι: $R=L_1-L_2+10\log(S/A)$ όπου A=100 m^2 (*ανεξάρτητο της συχνότητας*).



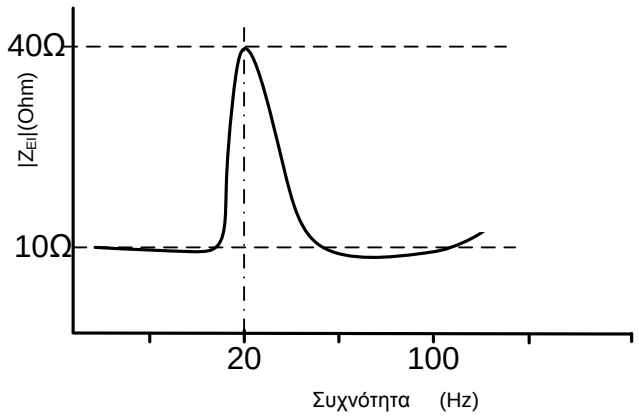
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - *Ηλεκτρικές, Μηχανικές, Ακουστικές Αναλογίες, Μετατροπείς και Ισοδύναμα Κυκλώματα*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 & 5

Δίνεται μεγάφωνο με χαρακτηριστικά που δίνονται στον **Πίνακα.** Όταν εκπέμπει στον αέρα από «άπειρο αποσβεστήρα», η εμπέδιση του φαίνεται στο **Σχήμα.**

Ακτίνα διαφράγματος	$\alpha = 0{,}3\ m\ (12'')$
Ηλεκτρική αντίσταση πηνίου	$R_0 = 6\ \Omega$
Ηλεκτρική επαγωγή	$L_0 = 2\ mH$
Μαγνητική ροή στο πηνίο	$B = 2{,}28\ T$
Μήκος πηνίου	$l = 5\ m$
Μηχανική μάζα διαφράγματος	$m = 20 \times 10^{-3}\ kg$

Δίνεται επίσης ότι για το μεγάφωνο αυτό $R_{ME} \approx 1$ Ns/m και $X_{ME} \approx 0$. Όταν το μεγάφωνο αυτό τοποθετηθεί σε ηχείο κλειστού τύπου, τότε η συχνότητα συντονισμού f_s γίνεται 100Hz και η τιμή της $|Z_{EI}|$ για το ηχείο/μεγάφωνο στην νέα αυτή συχνότητα συντονισμού γίνεται 25Ω.



(α) Να καθοριστεί ο εσωτερικός όγκος του ηχείου αυτού

(β) Αν το μεγάφωνο τροφοδοτείται με ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 100Hz τάσης 10V και με δεδομένο ότι $u(t) = \dfrac{T \cdot I(t)}{Z_{ME} + Z_{MO}}$ να υπολογισθεί η εκπεμπόμενη ακουστική ισχύς, και ηχοστάθμη (στο 1m) στην συχνότητα συντονισμού f_s, του κλειστού ηχείου.

(γ)Να υπολογισθεί η διαφορά στην ηχοστάθμη που επιφέρει η τοποθέτηση του μεγαφώνου στο ηχείο στην συχνότητα συντονισμού f_s του κλειστού ηχείου.

(δ) Τι συμπεράσματα προκύπτουν από τα παραπάνω αποτελέσματα; Σχεδιάστε κατά προσέγγιση την απόκριση συχνότητας (μέτρο) του μεγαφώνου όταν αυτό εκπέμπει στον αέρα από «άπειρο αποσβεστήρα» και όταν εκπέμπει τοποθετημένο στο ηχείο

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 & 5

Για συγκεκριμένο μεγάφωνο που λειτουργεί σε άπειρη μπάφλα, δίνονται:

Ακτίνα α = 0,1 m, B = 1 T, l = 7,5 m, R_0 *=10 Ω,* L_0 *= 0,0005 H, k= 2000 N/m,* R_m *= 1 Ns/m, m = 0.01 kg,* R_{ME} *= 2 Ns/m,* X_{ME} *= 0*

(α) να υπολογισθεί η συχνότητα μηχανικο-ακουστικού συντονισμού του μεγαφώνου

(β) για συχνότητα σήματος οδήγησης *f = 200Hz* και ρεύμα 2A, να υπολογισθεί η ισχύς ακουστικής εκπομπής

(γ) για τη συχνότητα μηχανικο-ακουστικού συντονισμού και τάση 20V, να υπολογισθεί η ισχύς ακουστικής εκπομπής και η rms απομάκρυνση του κώνου

(δ) αν το παραπάνω μεγάφωνο τοποθετηθεί σε κλειστό ηχείο εσωτερικού όγκου V_{tb} = 0.1 m^3 και για τις συνθήκες οδήγησης που δίνονται στο (β), να υπολογισθεί η νέα συχνότητα μηχανικο-ακουστικού συντονισμού του συστήματος καθώς και η ισχύς ακουστικής εκπομπής. Ποια είναι η % μεταβολή της ισχύος σε σχέση με την εκπομπή εκτός ηχείου;

Δίνονται:

$$k_A = (\pi a^2)^2 \frac{\rho c^2}{V_{tb}} \qquad u(t) = \frac{T \cdot I(t)}{Z_{ME} + Z_{MO}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – *Μικρόφωνα*

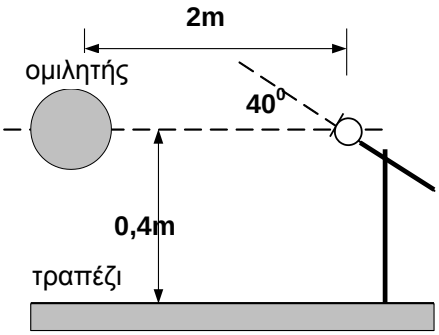
ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ένας ομιλητής που θεωρείται σφαιρική πηγή, παράγει ηχοστάθμη 75dB/1m και ηχογραφείται από καρδιοειδές μικρόφωνο στάθμης ευαισθησίας -40 dBV (ref. 1V/Pa) που είναι τοποθετημένο όπως φαίνεται στο **Σχήμα.**

(α) αν το τραπέζι αντανακλά το 80% της ηχητικής πίεσης που προσπίπτει, να υπολογιστεί η τάση εξόδου του μικροφώνου

(β) αν το μικρόφωνο είναι παντοκατευθυντικό, να υπολογιστεί η διαφορά στην τάση εξόδου του μικροφώνου

(γ) με βάση τη γενική σχέση S(θ) = P+G(θ), (P+G=1) που περιγράφει την κατευθυντικότητα κάθε τύπου μικροφώνου, να δοθούν οι τιμές των P και G για τους παραπάνω 2 τύπους μικροφώνων



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – *Μεγάφωνα & ηχεία*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συγκεκριμένο μεγάφωνο/ηχείο έχει στάθμη ευαισθησίας 100dB/W/m και τροφοδοτείται με ημίτονο συχνότητας f = 1 KHz και ηλεκτρική ισχύ 80W. Το ηχείο θεωρούμε ότι εκπέμπει σαν παντοκατευθυντική πηγή με τεχνικά χαρακτηριστικά του μεγαφώνου:

$$\alpha = 0{,}3 \text{ m}, B = 1 \text{ T}, l = 1{,}5 \text{ m}, R_0 = 4\ \Omega, L_0 = 0{,}2\text{m H}, k = 15000 \text{ N/m}, R_m = 1 \text{ Ns/m},$$
$$m = 0.005 \text{ kg}, R_{ME} = 2 \text{ Ns/m}, X_{ME} \approx 0$$

(α) να υπολογισθεί η συχνότητα μηχανικο-ακουστικού συντονισμού του μεγαφώνου και η τιμή του μέτρου της συνολικής σύνθετης ηλεκτρο-μηχανικο-ακουστικής αντίστασης στη συχνότητα αυτή

(β) να υπολογισθεί η rms απομάκρυνση του κώνου του μεγαφώνου

(γ) να υπολογισθεί η στάθμη ήχου που εκπέμπει το μεγάφωνο/ηχείο στα 30m

(δ) αν στο μεγάφωνο προσαρμοσθεί χοάνη (κόρνα), που πενταπλασιάζει την αντίσταση ακουστικής εκπομπής (χωρίς να μεταβάλλονται άλλα χαρακτηριστικά), να υπολογισθεί το σχετικό κέρδος που θα επιτευχθεί σε σχέση με την εκπομπή χωρίς κόρνα που υπολογίσθηκε στο (γ)

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

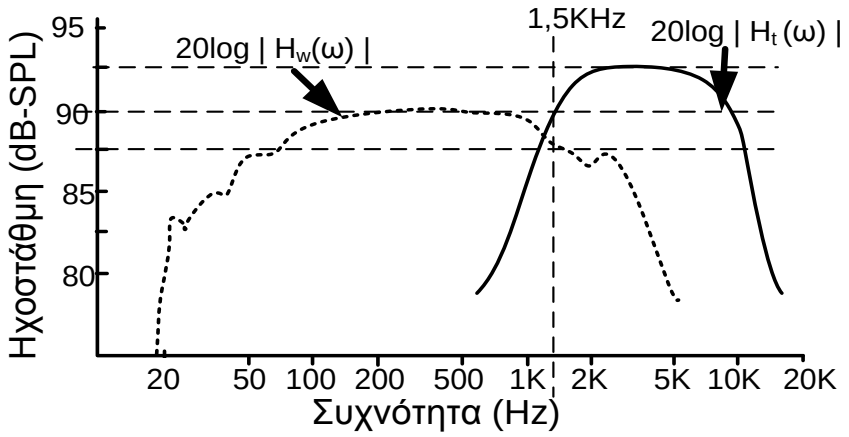
Ηχείο κλειστού τύπου 2 δρόμων, αποτελείται από 2 μονάδες μεγαφώνων, των οποίων οι αποκρίσεις $H_w(\omega)$ και $H_t(\omega)$ δίνονται στο **Σχήμα** υπό μορφή στάθμης μέτρου φάσματος για ηλεκτρική ισχύ 1Watt στο 1m, σε ανηχωϊκές συνθήκες και σε άπειρο αποσβεστήρα. Στο ηχείο, θα χρησιμοποιηθεί δικτύωμα διαχωρισμού συχνοτήτων (cross-over), με βρόχους $2^{ης}$ τάξης και συχνότητα αποκοπής (-3dB) για τη μονάδα χαμηλών στο 1 KHz και για τη μονάδα υψηλών στα 2 KHz. Έστω $H_{wc}(\omega)$ περιγράφει την συνάρτηση της απόκρισης του χαμηλοδιαβατού φίλτρου και $H_{tc}(\omega)$, την αντίστοιχη απόκριση του υψηλοδιαβατού φίλτρου.

(α) να σχεδιασθεί η απόκριση (μέτρο φάσματος) του καθενός βρόχου του δικτυώματος διαχωρισμού συχνοτήτων, έτσι ώστε να ισοσταθμίζεται η ευαισθησία των μονάδων στην περιοχή απόκριση τους

(β) να δοθεί η στάθμη ευαισθησίας της κάθε μονάδας μεγαφώνου (σε συχνότητες 200 Hz και 5 KHz, αντίστοιχα) και να υπολογισθεί η ηχοστάθμη που θα παράγει ανεξάρτητα η κάθε μονάδα μεγαφώνου στη συχνότητα 1,5 KHz, μετά από τη σύνδεση με το cross-over, για τροφοδοσία με ισχύ 1 Watt. Θεωρήστε εκπομπή σε απόσταση 1 m, σε ανηχωϊκές συνθήκες.

(γ) Αν $H(\omega)$ περιγράφει τη συνολική συνάρτηση απόκρισης συχνότητας του ηχείου στο 1m για τα 2 μεγάφωνα και το cross-over σε λειτουργία, να δοθεί η γενική σχέση που συνδέει τις συναρτήσεις $H(\omega)$, $H_w(\omega)$, $H_t(\omega)$, $H_{wc}(\omega)$ και $H_{tc}(\omega)$.

(δ) Να υπολογισθεί η τιμή της ηχοστάθμης που θα παράγει το ηχείο (όπως στο (β)), για τη συχνότητα του 1,5 KHz. Θα είναι ικανοποιητική η απόκριση στη συχνότητα αυτή; Αν όχι, εξηγήστε τους λόγους και τον απλούστερο τρόπο για διόρθωση της απόκρισης



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – *Ακουστική κλειστών χώρων*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ένας κλειστός παραλληλεπίπεδος χώρος έχει διαστάσεις l_x=10m, l_y=4m, l_z=3m, 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;

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

(β) ηχοαπορροφητικά πλαίσια μπορούν να απορροφήσουν τέτοιους συντονισμούς αν αναρτώνται σε απόσταση λ/4 (m) από τον τοίχο, όπου λ είναι το μήκος κύματος της συχνότητας συντονισμού την οποία θα πρέπει να απορροφήσουν. 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, 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.

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κλειστός αδιαμόρφωτος χώρος με διαστάσεις Π:10m x Μ:20m x Υ:5m είναι κατασκευασμένος από μπετόν με μέσο συντελεστή απορρόφησης $\bar{\alpha} = 0{,}05$. Ο χώρος αυτός πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για συναυλιακή χρήση και από τα σχετικά διαγράμματα ιδανικής τιμής Χρόνου Αντήχησης και όγκου, προκύπτει τιμή RT = 1 sec. Για τη διαμόρφωση του χώρου, υπάρχει δυνατότητα χρήσης ειδικών

ακουστικών επιφανειών (πάνελ) με $\bar{\alpha} = 0,5$ και που το κάθε πάνελ έχει διαστάσεις 1m x 1m. Σημειώστε ότι στη μία πλευρά της αίθουσας (κατά τη διάσταση πλάτους), θα τοποθετηθεί σκηνή η οποία θα καταλάβει συνολικά 50m^2 επιφάνειας από την αίθουσα.

(α) να υπολογισθεί πόσα τέτοια πάνελ θα απαιτηθεί να χρησιμοποιηθούν και να περιγραφεί και να αιτιολογηθεί σε ποιες από τις επιφάνειες του χώρου θεωρείτε ότι θα πρέπει να τοποθετηθούν.

(β) με δεδομένο ότι από τους κανονισμούς απαιτείται επιφάνεια 1,5m^2 ανά ακροατή, να υπολογισθεί κατά πόσο θα μεταβληθεί η τιμή του Χρόνου Αντήχησης της αίθουσας (μετά τις τροποποιήσεις που ορίστηκαν στο (α)), όταν η αίθουσα είναι πλήρης. Για καθιστό άνθρωπο δίνεται ότι $\bar{\alpha} = 0,5$.

(γ) στην περίπτωση του πλήρους ακροατηρίου, να εξετασθεί το κατά πόσο η αίθουσα θα είναι κατάλληλη για καταληπτή ομιλία, θεωρώντας ότι ομιλητής θα βρίσκεται στο κέντρο της σκηνής και ότι θα εμφανίζει συντελεστή κατευθυντικότητας Q = 4.

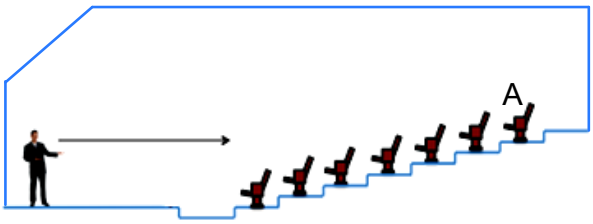
ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Με βάση το **Σχήμα**,

(α) να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε τη συνεισφορά των επιφανειών του συγκεκριμένου χώρου για την παραγωγή των 4 πρώτων ανακλάσεων που θα φτάσουν στη θέση Α του ακροατηρίου από τον ομιλητή.

(β) να σχεδιάσετε επίσης τις περιοχές του ακροατηρίου που θα καλύπτονται κατά κύριο λόγο από ανακλάσεις που θα προέρχονται από αυτές τις επιφάνειες

(γ) να σχεδιάσετε (κατά προσέγγιση) τη μορφή της κρουστικής απόκρισης μεταξύ ομιλητή και ακροατή στη θέση Α.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – *Ηχητικές εγκαταστάσεις: ακουστική κάλυψη*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 & 7

Στην αίθουσα του **Σχήματος** με διαστάσεις 20x12x6 m (ΜxΠxΥ) και μέση τιμή συντελεστή απορρόφησης 0,4, πρόκειται να τοποθετηθεί πλήρης ηλεκτροακουστική εγκατάσταση για αναπαραγωγή ομιλίας, ενώ οι θέσεις του ακροατηρίου καλύπτει επιφάνεια 10x10m (ΜxΠ)

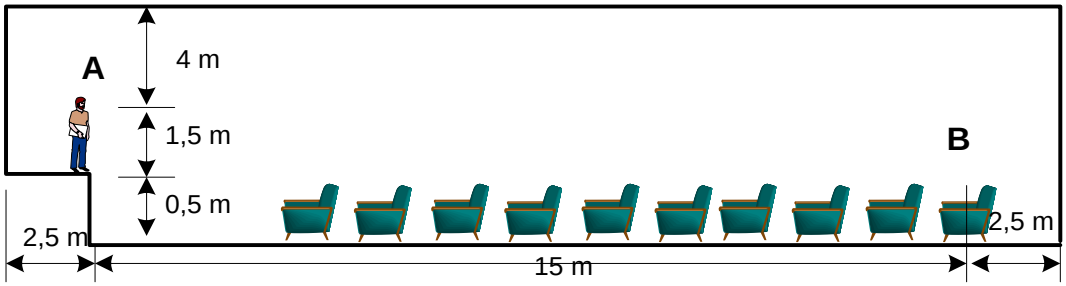
Συνολικά, η εγκατάσταση θα αποτελείται από 4 ίδια μεγάφωνα με Στάθμη Ευαισθησίας 92 dB/W/m, αξονικό συντελεστή κατευθυντικότητας Q = 10 (σε όλες τις συχνότητες) και μέτρο σύνθετης αντίστασης 8Ω. Τα μεγάφωνα θα πρέπει να τοποθετηθούν σε κατάλληλες θέσεις έτσι ώστε να καλύπτουν τις θέσεις του ακροατηρίου, υποθέτοντας ότι ο ακροατής κάθεται σε ύψος 0,5 m από το έδαφος. Όλα τα μεγάφωνα θα πρέπει να οδηγηθούν από ενισχυτή ισχύος που αποτελείται από 2 ανεξάρτητα κανάλια και που στην έξοδο

τους θα πρέπει να δέχονται φορτίο με μέτρο αντίστασης 4Ω. Το πρόγραμμα θα μεταδίδεται μονοφωνικά και πηγές θα είναι μουσικό πρόγραμμα από cd-player ή/και μηνύματα από μικρόφωνο ομιλητή.

(α) να υπολογισθεί ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας και η καταληπτότητα ομιλίας στη καλύτερη και στη χειρότερη θέση ακρόασης (χωρίς τη χρήση της εγκατάστασης)

(β) να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα πρέπει να τροφοδοτηθεί το κάθε μεγάφωνο, ώστε να πετυχαίνει συνολική στάθμη 90 dB SPL στη καλύτερη θέση ακρόασης. Στη στάθμη αυτή συνυπολογίζεται και η συνεισφορά της αντήχησης.

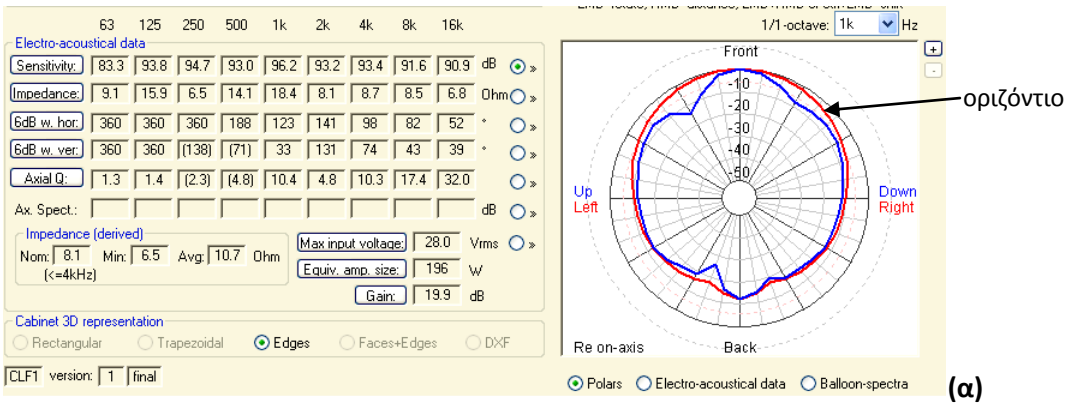
(γ) να σχεδιασθεί η θέση τοποθέτησης των ηχείων, καθώς και η συνδεσμολογία των μεγαφώνων και της συνολικής εγκατάστασης και να υπολογισθεί ή ηλεκτρική ισχύς που θα απαιτηθεί από τον ενισχυτή για να τροφοδοτήσει όλα τα μεγάφωνα.



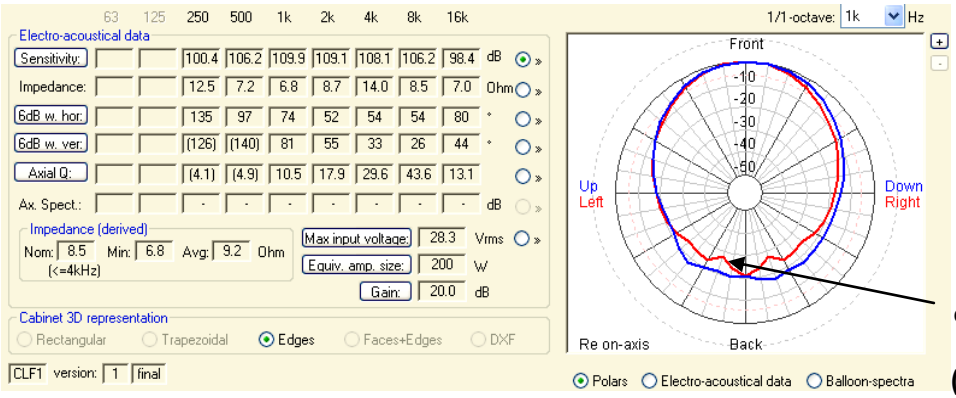
Δίνεται: $$W_{\text{ΗΛ}} = 10^{\frac{L_P - SW - 10\log(\frac{Q}{4\pi r^2}+\frac{4}{R}) + 10\log(\frac{Q}{4\pi}+\frac{4}{R})}{10}}$$

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 & 8

Στο **Σχήμα** δίνονται τα χαρακτηριστικά στάθμης ευαισθησίας (Sensitivity), μέτρου εμπέδισης (Impedance), πολικών διαγραμμάτων κατευθυντικότητας και παράγοντα κατευθυντικότητας Q επί του άξονα (Axial Q), για 2 διαφορετικά ηχεία. Τα ηχεία αυτά τροφοδοτούνται με σήμα λευκού θορύβου από τον ίδιο ενισχυτή με ισχύ 1 Watt rms.



(α)



οριζόντιο

(β)

(α) Να υπολογισθεί η ηχοστάθμη που θα μετρηθεί σε απόσταση 10 m από το κάθε ηχείο στο ελεύθερο πεδίο και σε γωνία 0^0 στη συχνότητα 1KHz.

(β) για την να υπολογισθεί η διαφορά στην ηχοστάθμη που θα παραχθεί σε κάθε μία περίπτωση σε απόσταση 10 m από το κάθε ηχείο στο ελεύθερο πεδίο στην γωνία 60^0 στο οριζόντιο επίπεδο (στο 1KHz).

(γ) θεωρώντας ότι για την παραπάνω συνθήκη τροφοδοσίας στη συχνότητα 1KHz η τάση τροφοδοσίας είναι η ίδια και στα 2 ηχεία, να υπολογίσετε την τιμή του ρεύματος που θα απαιτηθεί από τον ενισχυτή σε κάθε μία περίπτωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – *Ηλεκτρικές σχέσεις & χαρακτηριστικά*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Ένας ενισχυτής ισχύος λειτουργεί για ημιτονοειδές σήμα εισόδου με κέρδος G=30 dB και αποδίδει rms ισχύ εξόδου 200 W σε φορτίο 8Ω.

(α) να υπολογιστεί:

- το κέρδος τάσης
- η τιμή της μέγιστης ενεργούς (rms) τάσης εξόδου
- η τιμή της rms τάσης εισόδου που οδηγεί την παραπάνω μέγιστη έξοδο

αν ο ίδιος ενισχυτής διπλασιάζει την ισχύ που αποδίδει σε φορτίο 4Ω, να υπολογισθεί για την περίπτωση αυτή και για οδήγηση ημιτονοειδούς σήματος:

- η DC τάση κορυφής (peak) που θα πρέπει να παρέχουν οι γραμμές τροφοδοσίας
- το μέγιστο ρεύμα (peak) που πρέπει να παράγεται

(β) δώστε τα βασικά δομικά διαγράμματα ενός ενισχυτή τάξης D που να λειτουργεί με
(i) αναλογικό (ii) με ψηφιακό ηχητικό σήμα εισόδου.
Ποια είναι η τυπική απόδοση λειτουργίας ενισχυτών τάξης A, B και D;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – *Παραδείγματα ηλεκτροακουστικών εγκαταστάσεων*

ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 & 9

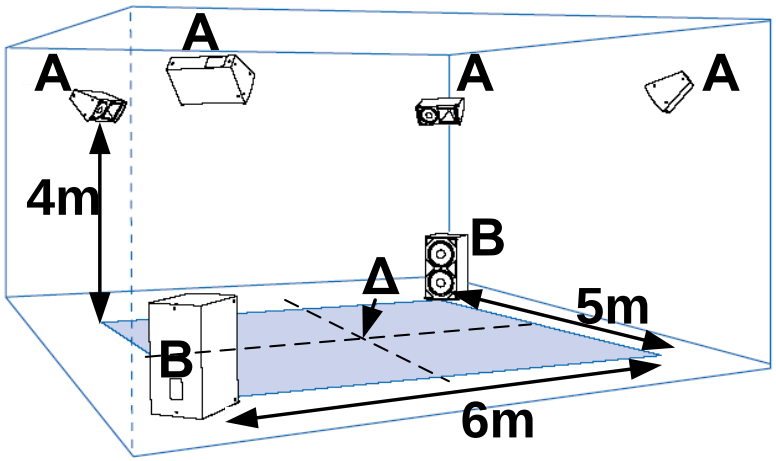
Σε χορευτικό κέντρο που λειτουργεί σε ανοικτό χώρο, θα τοποθετηθεί ηχητική εγκατάσταση, όπως φαίνεται στο **Σχήμα**, που θα πρέπει να αναπαράγει ηχοστάθμη 110 dB SPL (συνολικά μαζί με 10 dB περιθώριο για μεταβατικά) στο σημείο Δ, στο κέντρο της πίστας. Τα χαρακτηριστικά των ηχείων Α και Β δίνονται στον **Πίνακα**.

	A	**B**
Στάθμη ευαισθησίας (dB/W/m)	97	102
Απόκριση συχνότητας ±3 dB (Hz)	100-16000	25-1000
Μέτρο σύνθετης αντίστασης (Ω)	8	8

Για την τροφοδοσία των ηχείων θα χρησιμοποιηθούν 3 δικάναλοι ενισχυτές ισχύος 100W/8Ω ή 200W/4Ω (ανά κανάλι). Σαν πηγές προβλέπονται 2 CD players και 1 μικρόφωνο.

(α) Για λειτουργία μόνο των ηχείων Α, να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα απαιτήσει το κάθε ηχείο

(β) θα απαιτηθεί και η χρήση των ηχείων Β και γιατί; Αν ναι, να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς που θα απαιτήσει το κάθε ηχείο Β.

(γ) να σχεδιασθεί το μέτρο φάσματος της απόκρισης του συστήματος στη θέση Δ, για την περίπτωση: (i) λειτουργίας μόνο των ηχείων Α, (ii) ταυτόχρονης λειτουργίας των ηχείων Α και Β.

(δ) Να σχεδιασθεί η συνδεσμολογία του συστήματος καθώς και η βέλτιστη ρύθμιση της μονάδας που θα πρέπει να κατευθύνει χωριστά τα σήματα στα ηχεία Α και Β.