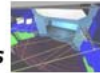


## Μάθημα: «Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων»

### Διάλεξη 5<sup>η</sup>: «Συστήματα μεγαφώνων»

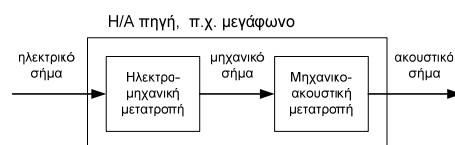
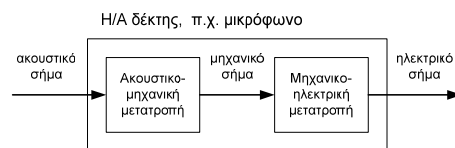
Φλώρος Ανδρέας  
Επικ. Καθηγητής

Electro  
Acoustics



## Από προηγούμενο μάθημα...

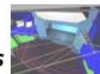
- Ηλεκτροακουστικοί μετατροπείς: Μετατρέπουν ακουστική/ηλεκτρική/μηχανική ενέργεια που παράγεται σε κάποιο υποσύστημα σε κάποια άλλη μορφή
  - Συνδιάζουν πολλαπλά στάδια ενεργειακής μετατροπής

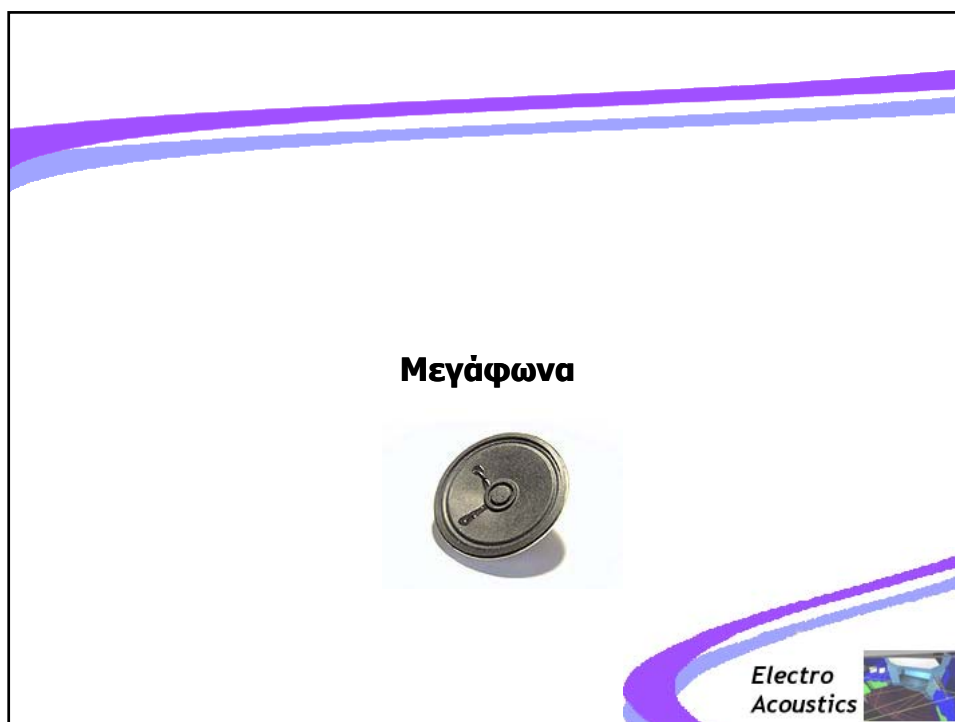


Χρήση ηλεκτρομαγνητικού ή  
πιεζοηλεκτρικού στοιχείου για  
μηχανο/ηλεκτρική μετατροπή

Χρήση μεμβράνης ή  
διαφράγματος για  
μηχανο/ακουστική μετατροπή

Electro  
Acoustics





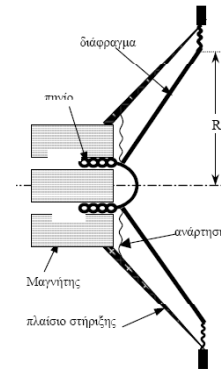
**Το σύστημα μεγαφώνου**

- Μετατροπείας ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική, μέσω μίας παλλόμενης μεμβράνης (διαφράγματος) είτε
  - Άμεσα
  - είτε έμμεσα με μεσολάβηση συστήματος χοάνης (κόρνας)
- Ζητούμενο η
  - Υψηλή πιστότητα (High-Fidelity)
    - Επιτυγχάνεται συνήθως από συστήματα άμεσης μετατροπής
    - Ικανοποιητική απόκριση συχνότητας σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων
    - Χαμηλή απόδοση και περιορισμένη κατευθυντικότητα στις υψηλές συχνότητες
  - Επάρκεια ισχύος για κάλυψη μεγάλων χώρων
    - Επιτυγχάνεται συνήθως με συστήματα που κάνουν χρήση χοάνης

Electro Acoustics

## Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική

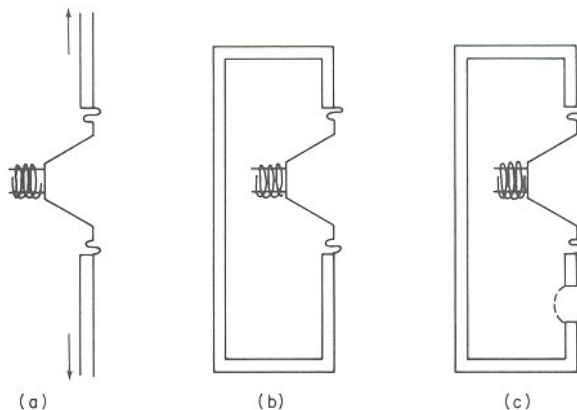
- Παλλόμενο διάφραγμα
  - Οδήγηση από τάση
- Μη πλήρης απόκριση συχνότητας από ένα μεγάφωνο
  - Περιορισμοί από τη φυσική τους
  - Χρήση δύο ή περισσότερων μεγαφώνων
- Τοποθέτηση σε «κιβώτια» για απομόνωση εκπομπής στις δύο πλευρές του διαφράγματος
  - Λειτουργία σφαιρικής πηγής για περιορισμένο εύρος συχνοτήτων



Electro  
Acoustics



## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής

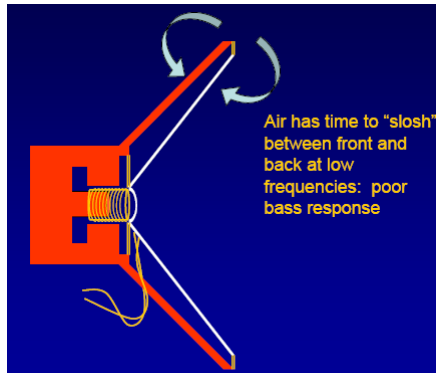


Electro  
Acoustics



## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής (συν.)

- Περίπτωση (α): απλό μεγάφωνο

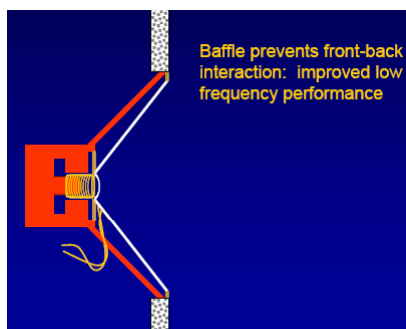


Electro  
Acoustics



## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής (συν.)

- Περίπτωση (β): το μεγάφωνο σε άπειρο αποσβεστήρα (baffle)

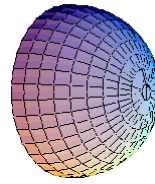
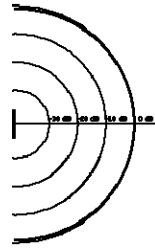
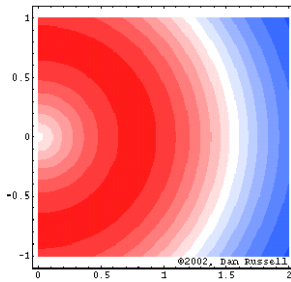


Electro  
Acoustics

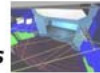


## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής (συν.)

- Περίπτωση ( $\beta-1$ ): το μεγάφωνο σε άπειρο αποσβεστήρα (baffle)
- Μοντέλο εκπομπής σε χαμηλές συχνότητες

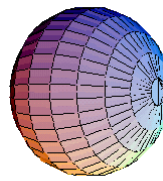
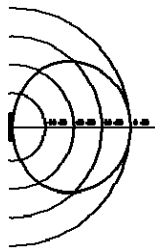
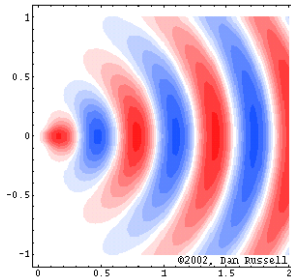


Electro  
Acoustics

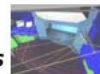


## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής (συν.)

- Περίπτωση ( $\beta-2$ ): το μεγάφωνο σε άπειρο αποσβεστήρα (baffle)
- Μοντέλο εκπομπής σε μεσαίες συχνότητες

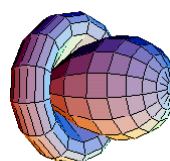
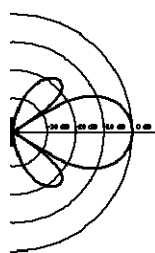
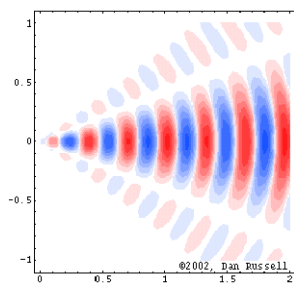


Electro  
Acoustics



## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής (συν.)

- Περίπτωση (β-3): το μεγάφωνο σε άπειρο αποσβεστήρα (baffle)
- Μοντέλο εκπομπής σε υψηλές συχνότητες



Electro  
Acoustics



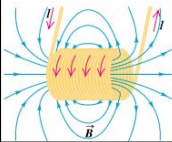
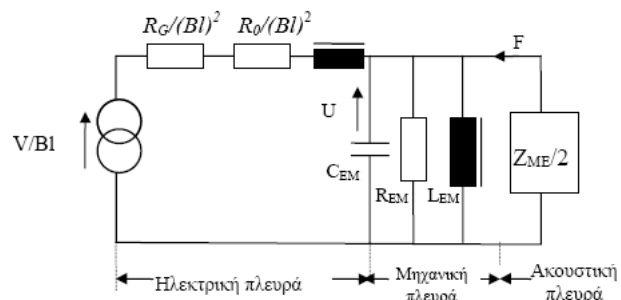
## Λίγη ιστορία...

- Δεκαετία '60
  - Απόκριση συχνότητας 100 – 1000Hz ( $\pm 6$ dB)
- Δεκαετία '70
  - Απόκριση συχνότητας 50 – 18000Hz ( $\pm 3$ dB)
  - Ελάττωση όγκου από 50-100 λίτρα σε 35
- Εξέλιξη/βελτίωση μέσω
  - Νέων υλικών κατασκευής
  - Βελτιωμένων τεχνικών ανάλυσης και μέτρησης
  - Ανάπτυξη αλγορίθμων (π.χ. ψηφιακής ισοστάθμισης)
  - Συστήματα πολυκαναλικής αναπαραγωγής

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρικό ισοδύναμο μεγαφώνων



Electro  
Acoustics



## Ευαισθησία μεγαφώνων

- Ευαισθησία μεγαφώνου: ο λόγος της παραγόμενης ακουστικής πίεσης προς την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική διέγερση (τάση)

$$S = \frac{p}{V}$$

- Ειδικά για μεγάφωνα, μπορούν να θεωρηθούν και μεγέθη ισχύος:

$$S_w = \left(\frac{p}{V}\right)^2$$

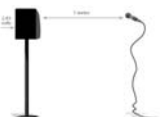
- Ιδανικά, η ευαισθησία θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη της συχνότητας
  - Σταθερή απόκριση συχνότητας
  - Στην πράξη, κάτι τέτοιο δε συμβαίνει σε καμία υλοποίηση

Electro  
Acoustics



## Ευαισθησία μεγαφώνων (συν.)

- Για τα μεγάφωνα, η ευαισθησία  $S.W.$  ορίζεται και ως  $dB/W/m$ 
  - Καθορίζει το πόσα  $dB-SPL$  θα παράγει το μεγάφωνο
    - Σε απόσταση 1 μέτρο (ή 3.3 πόδια) πάνω στον άξονά του
    - Όταν αυτό τροφοδοτηθεί από ηλεκτρική ισχύ 1Watt
    - Ή από τάση 2.83V εάν το μεγάφωνο έχει ονομαστική αντίσταση 8Ω
  - Η στάθμη ηχητική πίεσης σε απόσταση  $r$  μέτρα υπολογίζεται ως
    - $SPL = S.W + 10\log(W/W_{ref}) - 20\log r$
    - $W_{ref} = 1Watt$



Electro  
Acoustics



## Ευαισθησία μεγαφώνων (συν.)

- Παράδειγμα 1:
  - Έστω μεγάφωνο με ευαισθησία  $96dB/W/m$ , το οποίο τροφοδοτείται από ισχύ  $3W$ . Σε απόσταση  $r=4$ μέτρα από το μεγάφωνο, τοποθετείται παντοκατευθυντικό μικρόφωνο στάθμης ευαισθησίας  $-48dB$ . Ποιά θα είναι η έξοδος (σε Volt) του μικροφώνου;



Electro  
Acoustics

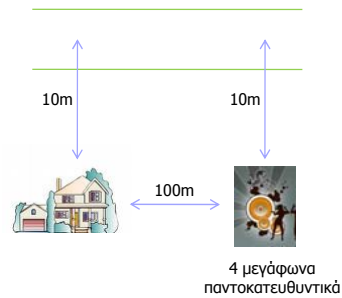




## Ευαισθησία μεγαφώνων (συν.)

- Παράδειγμα 2:

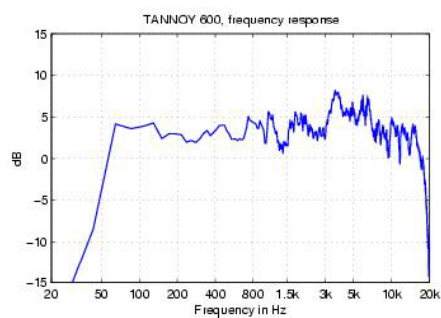
- Για να ακούγεται η μουσική στο σπίτι θα πρέπει να είναι 10dB πάνω από τη στάθμη του ήχου στο σπίτι. Είναι η μουσική ακουστή;
- Δίνονται
  - $S.W. = 100\text{dB/W/m}$
  - $W_E = 100\text{W}$
  - Μέση στάθμη θορύβου από το δρόμο: 70dB/1m



Electro  
Acoustics

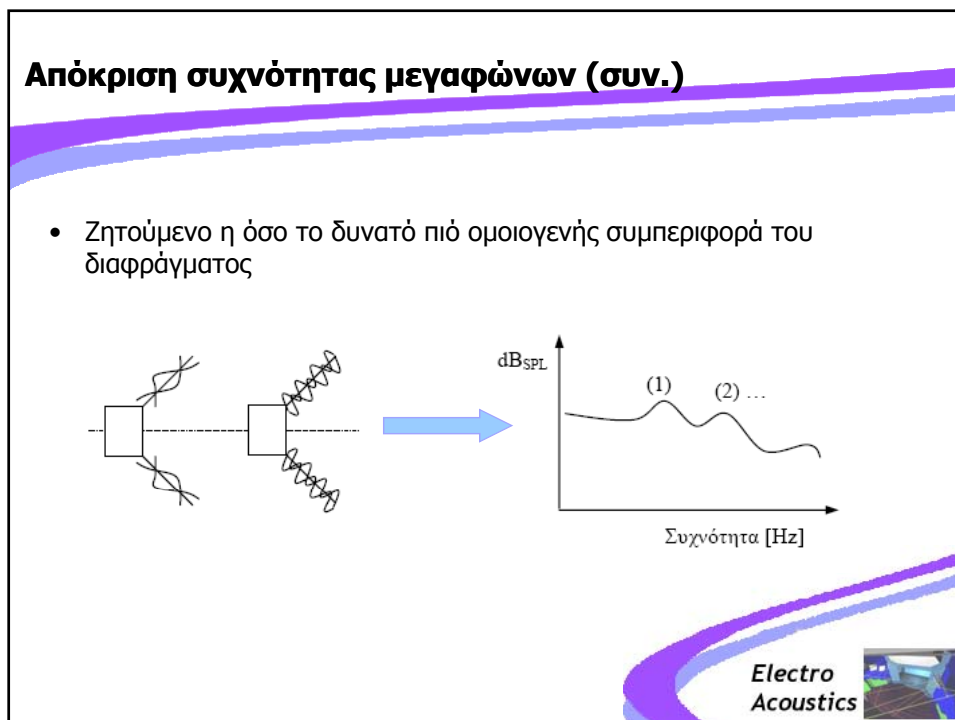
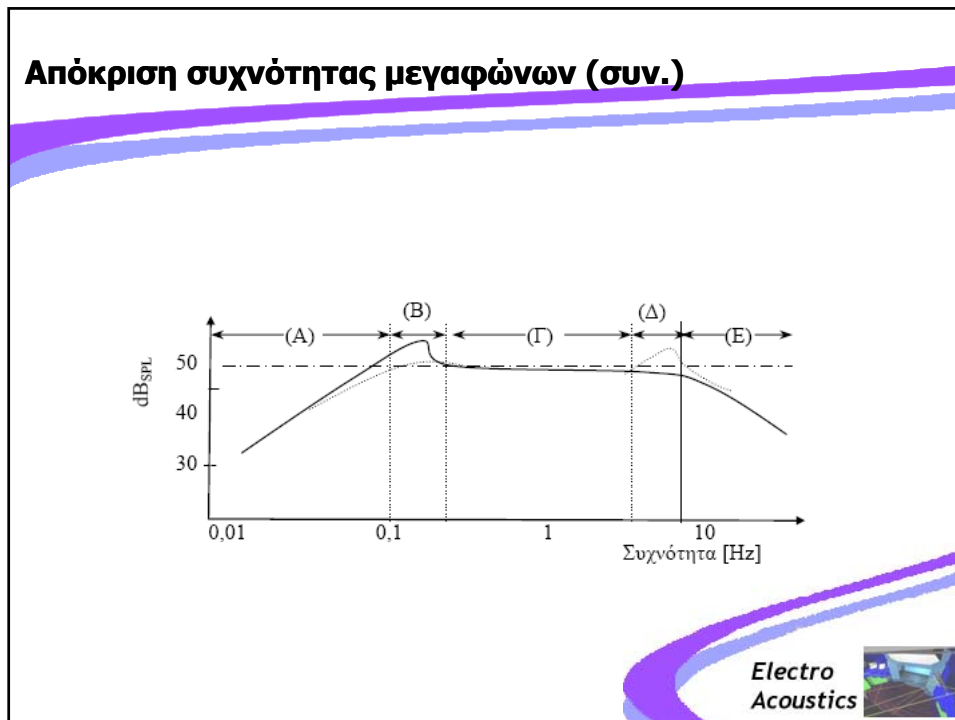


## Απόκριση συχνότητας μεγαφώνων



Electro  
Acoustics





## Κατηγορίες μεγαφώνων (απόκριση συχνότητας)

ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [Hz]	ΕΙΔΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ (ΑΓΓΛΙΚΑ)
30 – 1000	Χαμηλές συχνότητες (LF) "	«Woofers»
30 – 5000	Χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (MF)	«Woofers»
150 – 5000	Μεσαίες συχνότητες (MF )	“Mid – rangers”
700 – 10 000	Επάνω μεσαίες συχνότητες	“Mid – rangers”
1000 – 20 000	Επάνω μεσαίες και υψηλές συχνότητες	“Mid – rangers”
3000 – 20 000	Υψηλές συχνότητες (HF)	“Tweeters”
8000 – 30 000	Πολύ υψηλές συχνότητες (VHF)	“Tweeters”

- Αποτελεσματική λειτουργία μέχρι τα 1000Hz
- Χρήση ειδικών υλικών για διάφραγμα και ανάρτηση
  - Fiberglass, ίνες κάρβουνου, πολυστερίνη, νεοπρέν
- Ελάττωση συχνότητας κίνησης κατά το ήμισυ, διπλασιάζει την απομάκρυνση
  - Μη γραμμικά χαρακτηριστικά λειτουργίας

Electro  
Acoustics



## Κατηγορίες μεγαφώνων (απόκριση συχνότητας)

ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [Hz]	ΕΙΔΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ (ΑΓΓΛΙΚΑ)
30 – 1000	Χαμηλές συχνότητες (LF) "	«Woofers»
30 – 5000	Χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (MF)	«Woofers»
150 – 5000	Μεσαίες συχνότητες (MF )	“Mid – rangers”
700 – 10 000	Επάνω μεσαίες συχνότητες	“Mid – rangers”
1000 – 20 000	Επάνω μεσαίες και υψηλές συχνότητες	“Mid – rangers”
3000 – 20 000	Υψηλές συχνότητες (HF)	“Tweeters”
8000 – 30 000	Πολύ υψηλές συχνότητες (VHF)	“Tweeters”

- Χρήση σε οικιακά κυρίως περιβάλλοντα
- Ομοιογενής απόκριση συχνότητας
- Ομοιογενής κατευθυντικότητα
- Διάμετρο έως και 200mm

Electro  
Acoustics



## Κατηγορίες μεγαφώνων (απόκριση συχνότητας)

ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [Hz]	ΕΙΔΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ (ΑΓΓΛΙΚΑ)
30 – 1000	Χαμηλές συχνότητες (LF) ”	«Woofers»
30 – 5000	Χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (MF)	«Woofers»
150 – 5000	Μεσαίες συχνότητες (MF )	“Mid – rangers”
700 – 10 000	Επάνω μεσαίες συχνότητες	“Mid – rangers”
1000 – 20 000	Επάνω μεσαίες και υψηλές συχνότητες	“Mid – rangers”
3000 – 20 000	Υψηλές συχνότητες (HF)	“Tweeters”
8000 – 30 000	Πολύ υψηλές συχνότητες (VHF)	“Tweeters”

- Διάμετρο 60 έως και 160mm
- Λειτουργία στην περιοχή συχνοτήτων όπου η ανθρώπινη ακοή είναι πιο ευαίσθητη
  - Παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τελική ηχητική ποιότητα

Electro  
Acoustics



## Κατηγορίες μεγαφώνων (απόκριση συχνότητας)

ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ [Hz]	ΕΙΔΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ (ΑΓΓΛΙΚΑ)
30 – 1000	Χαμηλές συχνότητες (LF) ”	«Woofers»
30 – 5000	Χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (MF)	«Woofers»
150 – 5000	Μεσαίες συχνότητες (MF )	“Mid – rangers”
700 – 10 000	Επάνω μεσαίες συχνότητες	“Mid – rangers”
1000 – 20 000	Επάνω μεσαίες και υψηλές συχνότητες	“Mid – rangers”
3000 – 20 000	Υψηλές συχνότητες (HF)	“Tweeters”
8000 – 30 000	Πολύ υψηλές συχνότητες (VHF)	“Tweeters”

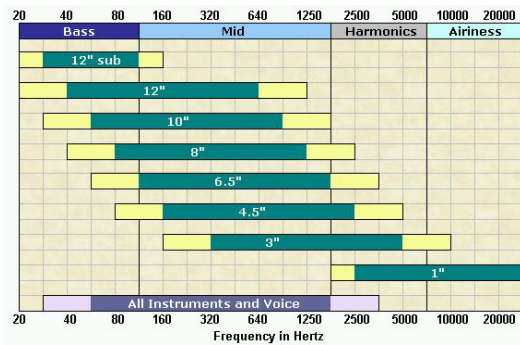
- Διάμετρο 25 έως και 30mm
- Σφαιρικό σχήμα

Electro  
Acoustics



## Κατηγορίες μεγαφώνων (απόκριση συχνότητας)

- Σε κάθε περίπτωση, τα όρια της απόκρισης ενός μεγαφώνου
  - Καθορίζονται από τις διαστάσεις του (διάμετρος σε σχέση με το μήκος κύματος της παραγόμενης συχνότητας)



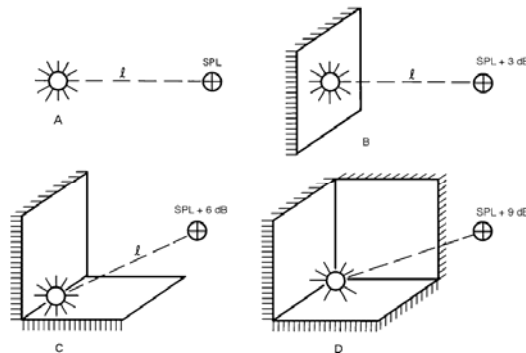
Ενδεικτικό διάγραμμα. Η τελική απόκριση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό και από το χώρο της αναπαραγωγής.

Electro  
Acoustics



## Εξάρτηση απόκρισης συχνότητας από τον χώρο

- Επηρεάζονται οι συχνότητες με μήκος κύματος αντίστοιχο των επιφανειών ή μεγαλύτερο



Electro  
Acoustics



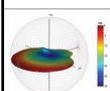
## Κατευθυντικότητα μεγαφώνων

- Η κατευθυντικότητα των μεγαφώνων συνήθως ορίζεται με τον δείκτη κατευθυντικότητας
  - Directivity Index, DI
- Περιγράφει τη διαφορά στάθμης της εκπεμπόμενης από το μεγάφωνο έντασης
  - πάνω σε μία διεύθυνση και σε μία συγκεκριμένη απόσταση
- σε σχέση με την εκπεμπόμενη ένταση από μία παντοκατευθυντική πηγή
  - ίδιας ισχύος και στην ίδια απόσταση

$$DI = 10 \log Q$$

- όπου Q ο παραπάνω λόγος:

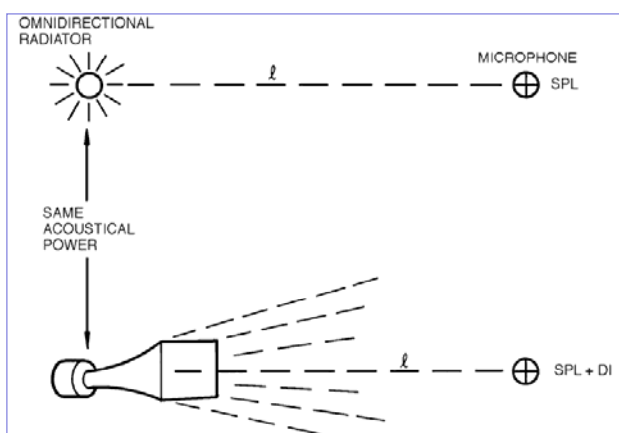
$$Q = 10^{DI/10}$$



Electro  
Acoustics



## Ορισμός δείκτη κατευθυντικότητας

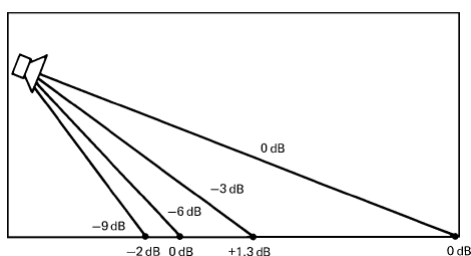


Electro  
Acoustics



## Παράδειγμα χρήσης της κατευθυντικότητας

- Ο άξονας του μεγαφώνου στοχεύει την μακρινότερη περιοχή του ακροατηρίου
  - Μεγαλύτερη πτώση της στάθμης ηχητικής πίεσης εκεί λόγω μεγαλύτερης απόστασης
- Στόχος η όσο το δυνατό ομοιόμορφη κατανομή της στάθμης ηχητικής πίεσης σε ολόκληρη την περιοχή του ακροατηρίου
  - Μέγιστη απόκλιση +/-3dB

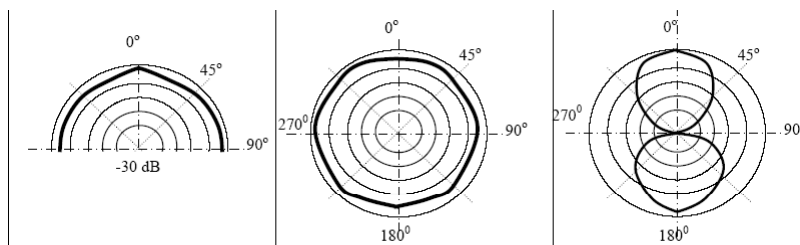


Electro  
Acoustics



## Τυπικά διαγράμματα κατευθυντικότητας

- Χαμηλές συχνότητες

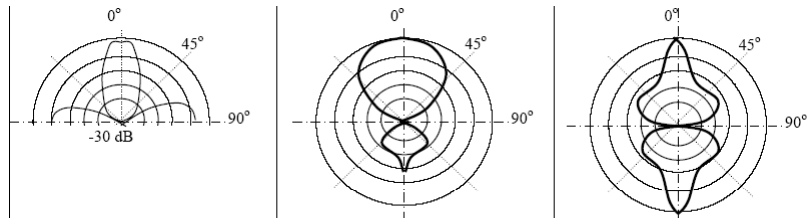


Electro  
Acoustics

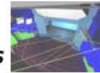


## Τυπικά διαγράμματα κατευθυντικότητας (συν.)

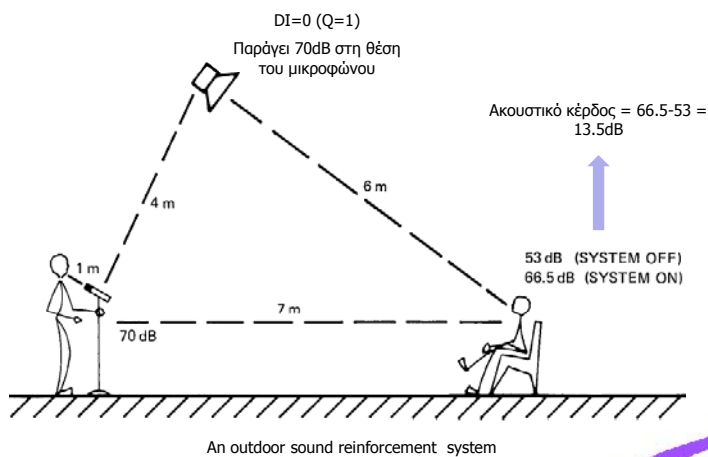
- Υψηλές συχνότητες



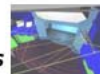
Electro  
Acoustics



## Το ακουστικό κέρδος



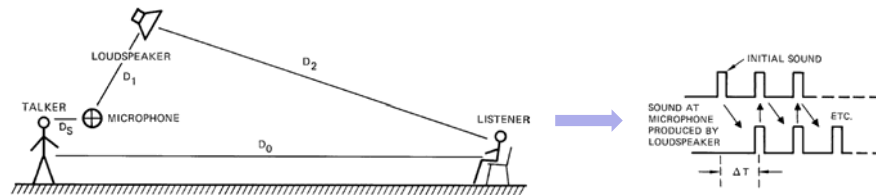
Electro  
Acoustics





## Το ακουστικό κέρδος (συν.)

- Αύξηση της ισχύος του ενισχυτή μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ακουστικής ανάδρασης



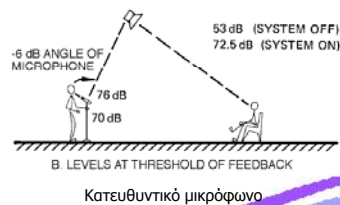
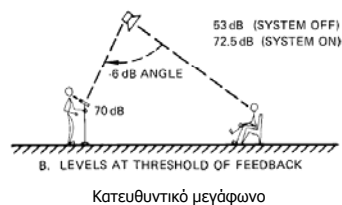
- Άρα το ακουστικό κέρδος δεν μπορεί να είναι απεριόριστα μεγάλο
  - Μέγιστο λίγο πριν την εμφάνιση ακουστικής ανάδρασης
    - Threshold of feedback

Electro  
Acoustics



## Το ακουστικό κέρδος (συν.)

- Το ακουστικό κέρδος μπορεί να γίνει μεγαλύτερο με χρήση
  - κατευθυντικών μεγαφώνων
  - κατευθυντικών μικροφώνων
- Παράδειγμα: Αύξηση ακουστικού κέρδους κατά 6dB

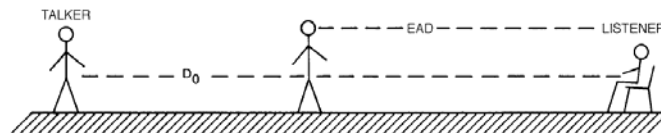


Electro  
Acoustics



## Το ακουστικό κέρδος (συν.)

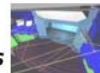
- Ποιά η απαραίτητη τιμή του ακουστικού κέρδους;
- Η εφαρμογή του ακουστικού κέρδους είναι ισοδύναμη με την μετακίνηση του ομιλητή προς τον ακροατή



- Ορισμός της Effective Acoustical Distance (EAD)
  - Η απόσταση εκείνη στην οποία πετυχαίνουμε την επιθυμητή ακουστότητα
- Απαραίτητο ακουστικό κέρδος

$$\text{Necessary gain} = 20 \log D_0 - 20 \log \text{EAD}$$

Electro  
Acoustics



## Το ακουστικό κέρδος (συν.)

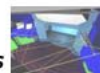
- Η επιλογή της EAD καθορίζεται από το πόσο θορυβώδες είναι το περιβάλλον
- Συνήθως η επιθυμητή ακουστότητα ορίζεται 25dB πάνω από τον θόρυβο περιβάλλοντος
- Παράδειγμα
  - Έστω  $D_0 = 7\text{m}$
  - Έστω ότι ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι 50dB
  - Η επιθυμητή ακουστότητα είναι 75dB
  - Ο ομιλητής στο 1m παράγει 70dB
  - Άρα η EAD θα πρέπει να είναι 0.25m (~77dB ακουστότητα)
  - Άρα το απαιτούμενο ακουστικό κέρδος είναι

$$\text{Necessary gain} = 20 \log D_0 - 20 \log \text{EAD}$$

$$\text{Necessary gain} = 20 \log (7) - 20 \log (.25)$$

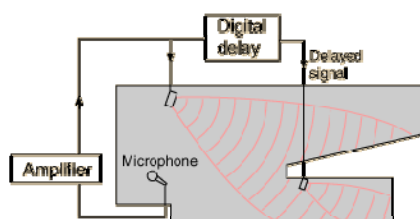
$$\text{Necessary gain} = 17 + 12 = 29 \text{ dB}$$

Electro  
Acoustics



## Χρήση μονάδων καθυστέρησης

- Όταν χρησιμοποιείται ηλεκτροακουστική υποστήριξη, σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η χρησιμοποίηση μονάδων μεταβλητής καθυστέρησης
  - λόγω της καθυστερημένης άφιξης του ήχου από μακρινές ηλεκτροακουστικές πηγές



Electro  
Acoustics



## Οδήγηση μεγαφώνων

- Ένα μεγάφωνο/ηχείο οδηγείται από ηλεκτρική ισχύ
  - Για να παίξει πιο δυνατά, πρέπει να τροφοδοτηθεί με περισσότερη ισχύ
- Ενισχυτής ισχύος
  - Λειτουργεί συνήθως ως πηγή σταθερής τάσης
  - Παρέχει το ρεύμα που είναι απαραίτητο για την οδήγηση των συστημάτων μεγαφώνων - ηχείων
- Πόσο είναι το ρεύμα αυτό;
  - Εξαρτάται από την συνολική εμπέδηση του μεγαφώνου

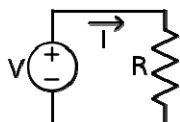


Electro  
Acoustics



## Βασικά στοιχεία ηλεκτρολογίας

- Τάση (V - Volt) – ρεύμα (I - Ampere) – αντίσταση (R - ohm)



- Νόμος του ΟΗΜ

$$I = \frac{V}{R}$$

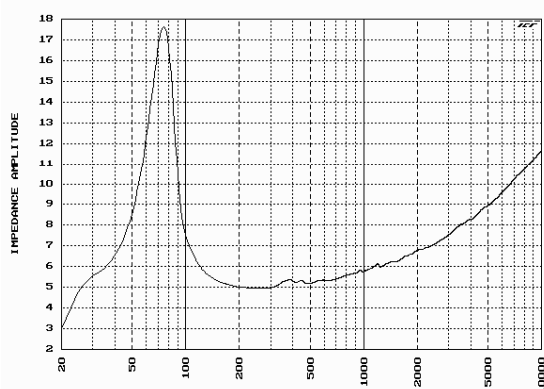
- Ισχύς  $P = VI = I^2R = V^2/R$  (Watt)

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική εμπέδηση μεγαφώνων

- Γενική μορφή σύνθετης αντίστασης (εμπέδησης) μεγαφώνων
  - Μιγαδική τιμή
  - Έντονη εξάρτηση από τη συχνότητα



Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική εμπέδηση μεγαφώνων (συν.)

- Οι συνιστώσες της εμπέδησης του μεγαφώνου

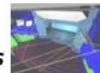
– Ηλεκτρική αντίσταση πηνίου  $Z_{EB} = R_0 + j\omega L_0$

– Αντίσταση εκπομπής (ακουστικό φορτίο)  $Z_{ME} = R_{ME} + jX_{ME}$

– Μηχανική αντίσταση του κώνου  $Z_{M0} = R_m + j\left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right)$



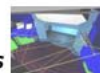
Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική εμπέδηση μεγαφώνων (συν.)

- 8Ω: η πλέον συνηθισμένη τιμή ονομαστικής «αντίστασης» ή εμπέδησης
  - Rated impedance
  - Αναφέρεται στην απλοποιημένη εκδοχή της εμπέδησης ως αποκλειστικά ωμικής αντίστασης
  - Αναφέρεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά αποκλειστικά και μόνο για χρήση σε υπολογισμούς
- Ορίζεται ως:
  - Η ελάχιστη τιμή της εμπέδησης στη συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων ενδιαφέροντος δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 0.8 της ονομαστικής
- Προκύπτει με την εύρεση της μέσης τιμής της ελάχιστης εμπέδησης και διαίρεσης με το 0.8
  - $\text{Rated\_Impedance} = \text{Mean\_min\_Impedance} / 0.8$

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική εμπέδηση μεγαφώνων (συν.)

- Παράδειγμα:
  - Έστω μεγάφωνο ονομαστικής εμπέδησης  $8\Omega$ 
    - $P=V^2/R$
  - Εάν η ονομαστική εμπέδηση γίνει  $16\Omega$  τότε
    - $P'=P/2$
    - Η ισχύς γίνεται η μισή και το ηχείο παίζει πιο σιγά
    - Για να γίνει η παραγόμενη στάθμη ηχητικής πίεσης ίση με αυτήν στα  $8\Omega$  θα πρέπει να αυξηθεί η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς του ενισχυτή
  - Εάν η ονομαστική εμπέδηση γίνει  $4\Omega$  τότε
    - Αυξάνεται η ισχύς
    - ... με την προϋπόθεση ότι ο ενισχυτής ισχύος έχει τα κατάλληλα αποθέματα ρεύματος ( $I'=2I$ )

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική εμπέδηση μεγαφώνων (συν.)

- Τι σημαίνει μεταβολή της εμπέδησης με τη συχνότητα στην πράξη;
  - Η ισχύς που απορροφά το μεγάφωνο από τον ενισχυτή μεταβάλλεται με τη συχνότητα
  - Εάν το μεγάφωνο τροφοδοτηθεί με ημιτονικά μεταβαλλόμενη τάση σταθερού πλάτους, τότε το μεγάφωνο θα παράγει διαφορετική πίεση στις διάφορες συχνότητες



Electro  
Acoustics



## Τι σημαίνει «ισχύς» μεγαφώνου;

- Σε καμία περίπτωση δεν συνδέεται με τό πόση είναι η ακουστική ισχύς στην έξοδο ενός μεγαφώνου
  - ... 'Η το πόσο δυνατά θα παίξει ένα μεγάφωνο
- Αναφέρεται στη μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύ που μπορεί να δοθεί από τον ενισχυτή προς το μεγάφωνο
  - Π.χ. χωρίς το μεγάφωνο να καταστραφεί
  - ...και θεωρώντας ότι αυτό έχει ονομαστική «εμπέδηση» (π.χ. 4Ω)
- Ένα μεγάφωνο μπορεί να καταστραφεί και με χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής ισχύος
  - Ειδικά στις χαμηλές συχνότητες
  - Στις υψηλές συχνότητες και για περιοδικά (ημιτονικά) σήματα



Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων

- Σύνδεση ενός μόνο μεγαφώνου
- Η αντίσταση που βλέπει ο ενισχυτής είναι:  
 $Z_{eq} = Z_{spk1}$
- Όμως:  $V_s = V_{spk1} = i * Z_{spk1}$
- Παράδειγμα
  - Τάση οδήγησης  $V_s = 10V$
  - $Z_{spk1} = 6\Omega$
  - $P_{spk1} = V_{spk1}^2 / Z_{spk1} = 16.67W$
  - $P_{tot} = P_{spk1} = 16.67W$



Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Σύνδεση μεγαφώνων σε σειρά
- Η «ισοδύναμη» αντίσταση που βλέπει ο ενισχυτής είναι:  $Z_{eq} = Z_{spk1} + Z_{spk2}$
- Όμως:  $V_s = V_{spk1} + V_{spk2} = i * Z_{spk1} + i * Z_{spk2} = i * (Z_{spk1} + Z_{spk2})$
- Παράδειγμα

- Τάση οδήγησης  $V_s = 10V$
- $Z_{spk1} = Z_{spk2} = 6\Omega$
- $P_{spk1} = V_{spk1}^2 / Z_{spk1} = (5V)^2 / 6 = 4.17W$
- $P_{spk2} = V_{spk2}^2 / Z_{spk2} = (5V)^2 / 6 = 4.17W$
- $P_{tot} = P_{spk1} + P_{spk2} = 8.33W$



Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Σύνδεση μεγαφώνων παράλληλα
- Η «ισοδύναμη» αντίσταση που βλέπει ο ενισχυτής είναι:  $Z_{eq} = Z_{spk1} * Z_{spk2} / [Z_{spk1} + Z_{spk2}]$
- Παράδειγμα

- Τάση οδήγησης  $V_s = 10V$
- $Z_{spk1} = Z_{spk2} = 6\Omega$
- $Z_{eq} = 3\Omega$
- $I_s = 3.33A \Rightarrow I_{spk1} = I_{spk2} = 1.66A$
- $V_{spk1} = V_{spk2} = 10V$
- $P_{spk1} = V_{spk1}^2 / Z_{spk1} = 16.67W = P_{spk2}$
- $P_{tot} = P_{spk1} + P_{spk2} = 33.33W$



Electro  
Acoustics





## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Προσοχή στη διασύνδεση πολλών μεγαφώνων
  - Σειριακή σύνδεση:
    - Αυξάνει την αντίσταση (εμπέδηση) που «βλέπει» ο ενισχυτής
    - Η προσφερόμενη τάση μοιράζεται μεταξύ των φορτίων
      - Το κάθε μεγάφωνο τροφοδοτείται με το  $\frac{1}{4}$  της ισχύος που θα δεχόταν εάν ήταν συνδεδεμένο μόνο του στον ενισχυτή
    - Το κάθε μεγάφωνο παράγει λιγότερη ακουστική πίεση στην έξοδο
    - Και τα δύο όμως μαζί παράγουν ακριβώς την ίδια στάθμη (με την περίπτωση όπου είχαμε συνδεδεμένο μόνο ένα)
      - Με την προϋπόθεση ότι είναι τοποθετημένα σωστά (και στον ίδιο χώρο)

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Προσοχή στη διασύνδεση πολλών μεγαφώνων
  - Παράλληλη σύνδεση
    - Το κάθε μεγάφωνο τροφοδοτείται από την ίδια τάση (άρα και ηλεκτρική ισχύ) με την περίπτωση που είναι συνδεδεμένο μόνο του
    - Η παραγόμενη ακουστική πίεση θα είναι 6dB μεγαλύτερη σε σχέση με ένα μόνο μεγάφωνο
      - Με την προϋπόθεση σωστής τοποθέτησης στον ίδιο χώρο
    - Η αντίσταση (εμπέδηση) που βλέπει ο ενισχυτής μικραίνει
      - Ο ενισχυτής βλέπει μικρότερο φορτίο και πρέπει να μπορεί να δώσει την απαιτούμενη επιπλέον ισχύ
  - Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται με οποιονδήποτε ενισχυτή ισχύος

Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Στερεοφωνική έξοδος A – B ενισχυτών ισχύος
  - Είναι σειριακή ή παράλληλη σύνδεση;
- Μπορεί να βρεθεί εάν
  - Συνδέσουμε ένα ζεύγος ηχείων στο A
  - Γυρίσουμε την επιλογή στο B
  - Εάν εξακολουθούμε να ακούμε, η σύνδεση είναι παράλληλη
  - Εάν όχι, είναι σειριακή

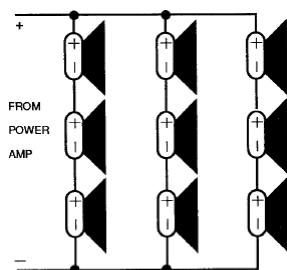


Electro  
Acoustics



## Ηλεκτρική διασύνδεση μεγαφώνων (συν.)

- Σύνθετες τοπολογίες μεγαφώνων



Electro  
Acoustics



## Απόδοση μεγαφώνων

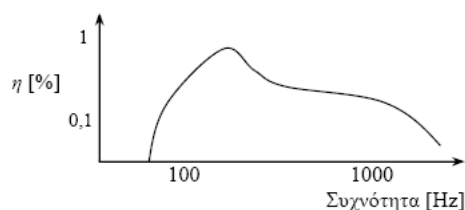
- Ακουστική απόδοση συστήματος μεγαφώνων
- Ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπεται ακουστικά προς την ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται το μεγάφωνο
- Παράδειγμα:
  - Έστω ότι χρειαζόμαστε 1Watt ακουστικής ισχύος
  - Για απόδοση 10%, ο ενισχυτής πρέπει να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ 10Watt
  - Για απόδοση 1%, ο ενισχυτής πρέπει να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ 1Watt

Electro  
Acoustics



## Απόδοση μεγαφώνων

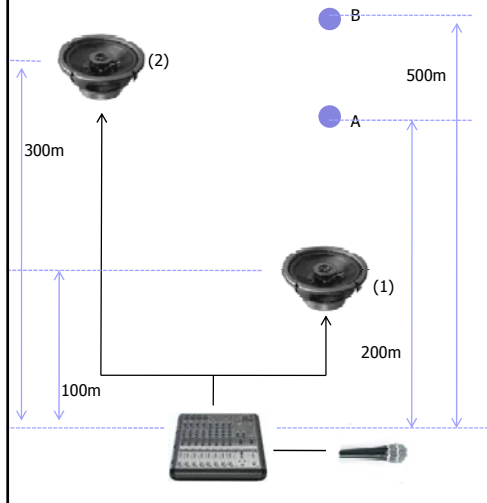
- Στην πράξη, η απόδοση των μεγαφώνων εξαρτάται έντονα από τη συχνότητα
  - Στενή σύνδεση με την ευαισθησία του μεγαφώνου
  - Μεταβολή ευαισθησίας με τη συχνότητα προκαλεί μεταβλητή απόκριση συχνότητας



Electro  
Acoustics



## Σύνοψη με ένα παράδειγμα



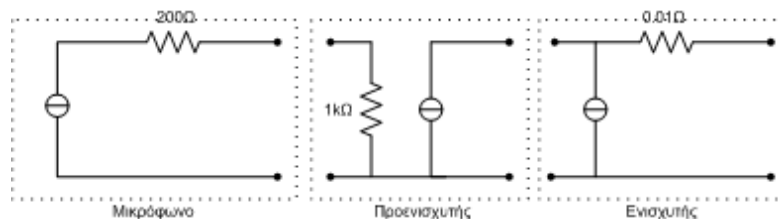
- Τα μεγάφωνα (1) και (2) είναι συνδεδεμένα παράλληλα στον ενισχυτή
  - S.W. = 90dB/W/m
  - Ονομαστική αντίσταση 8Ω
- Μικρόφωνο:  $SL = -40\text{dBV}$ ,  $R_{out} = 200\Omega$
- Προενισχυτής: Κέρδος 60dB,  $R_{in} = 1\text{k}\Omega$
- Ενισχυτής: Κέρδος 30dB,  $R_{out} = 0.01\Omega$
- Καλώδια μεγαφώνων:  $R = 0.06\Omega/\text{m}$
- Ο ομιλητής παράγει στο μικρόφωνο 50dB
- Πόση η συνολική ηχοστάθμη στα σημεία A και B;
- Πόση η χρονική καθυστέρηση που πρέπει να εφαρμοσθεί στα μεγάφωνα;

Electro  
Acoustics



## Σύνοψη με ένα παράδειγμα (συν.)

- Κύκλωμα διασύνδεσης μικροφώνου – προενισχυτή – ενισχυτή ισχύος

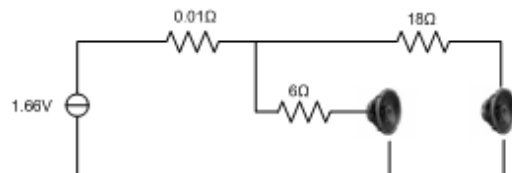


Electro  
Acoustics



## Σύνοψη με ένα παράδειγμα (συν.)

- Κύκλωμα διασύνδεσης ενισχυτή ισχύος – μεγαφώνων



- Στο μεγάφωνο (1) θα πρέπει να εφαρμοσθεί καθυστέρηση  $(d/c)+20ms$ , όπου  $d$  η απόσταση μεταξύ των δύο μεγαφώνων

Electro  
Acoustics

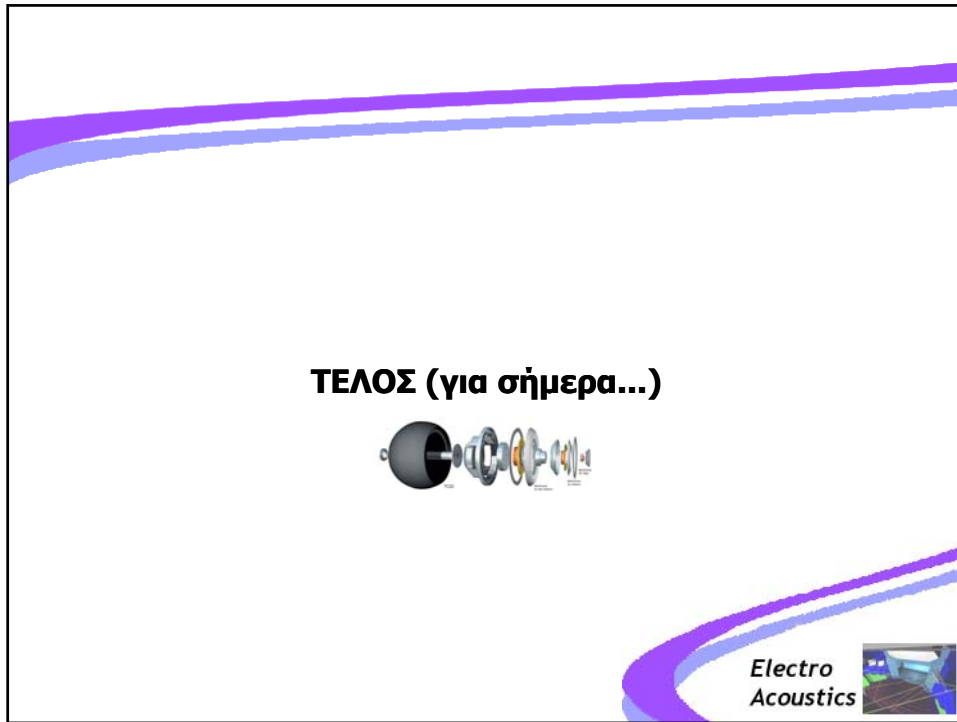


## Συστήματα Ηχείων (στο επόμενο μάθημα...)




Electro  
Acoustics






**ΤΕΛΟΣ (για σήμερα...)**



*Electro  
Acoustics*



[www.ionio.gr/~floros/](http://www.ionio.gr/~floros/)