

## Μάθημα: «Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων»

### Διάλεξη 6<sup>η</sup>: «Συστήματα Ηχείων»

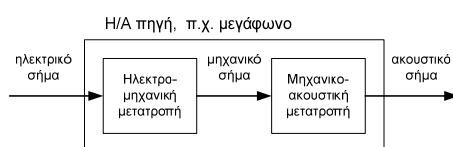
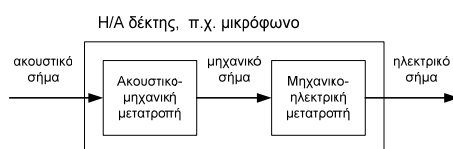
Φλώρος Ανδρέας  
Επικ. Καθηγητής

*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

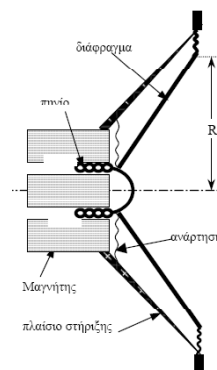
Χρήση μεμβράνης ή  
διαφράγματος για  
μηχανο/ακουστική μετατροπή

*Electro  
Acoustics*



## Το σύστημα του μεγαφώνου

- 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



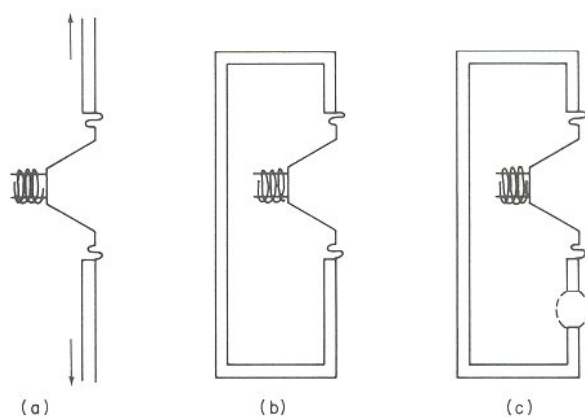
## Χαρακτηριστικά μεγαφώνων

- Ευαισθησία
- Απόκριση συχνότητας
  - Τα κάτω άκρα της καθορίζονται από τις φυσικές διαστάσεις του διαφράγματος
- Ηλεκτρική εμπέδηση
  - Μιγαδικό μέγεθος
- Κατευθυντικότητα
  - Χρησιμοποιείται στην μεγιστοποίηση του ακουστικού κέρδους

Electro  
Acoustics



## Το μεγάφωνο ως σύστημα ακουστικής εκπομπής

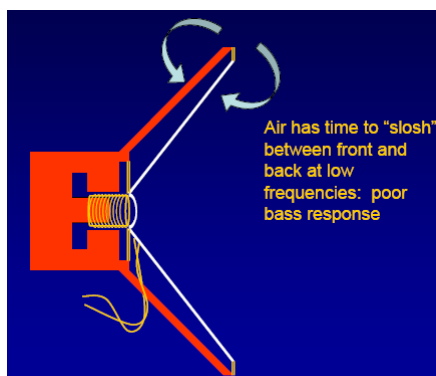


Electro  
Acoustics



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

- Περίπτωση (α): απλό μεγάφωνο

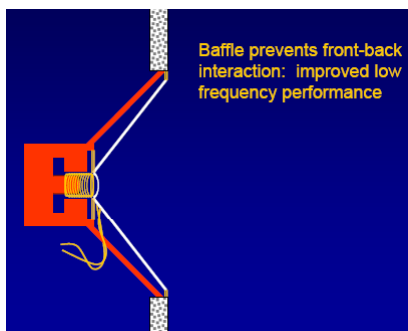


Electro  
Acoustics



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

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



Electro  
Acoustics



## Συστήματα Ηχείων

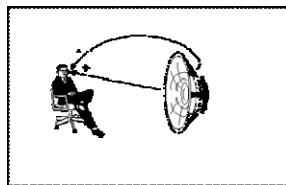


Electro  
Acoustics

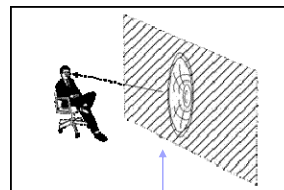


## Γιατί χρησιμοποιούνται ηχεία;

- Απομόνωση της εκπομπής στις δύο πλευρές του διαφράγματος
  - Π.χ. εκτός φάσης εκπομπή από δίπολα ηχεία



Εκπομπή ηχείων σε φάση και αντανάκλαση από το τοίχωμα



Εκπομπή ηχείων σε φάση και αντανάκλαση από το τοίχωμα

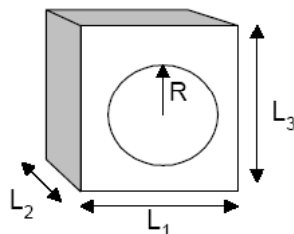
Μπάφλα άπειρου μεγέθους!

Electro  
Acoustics



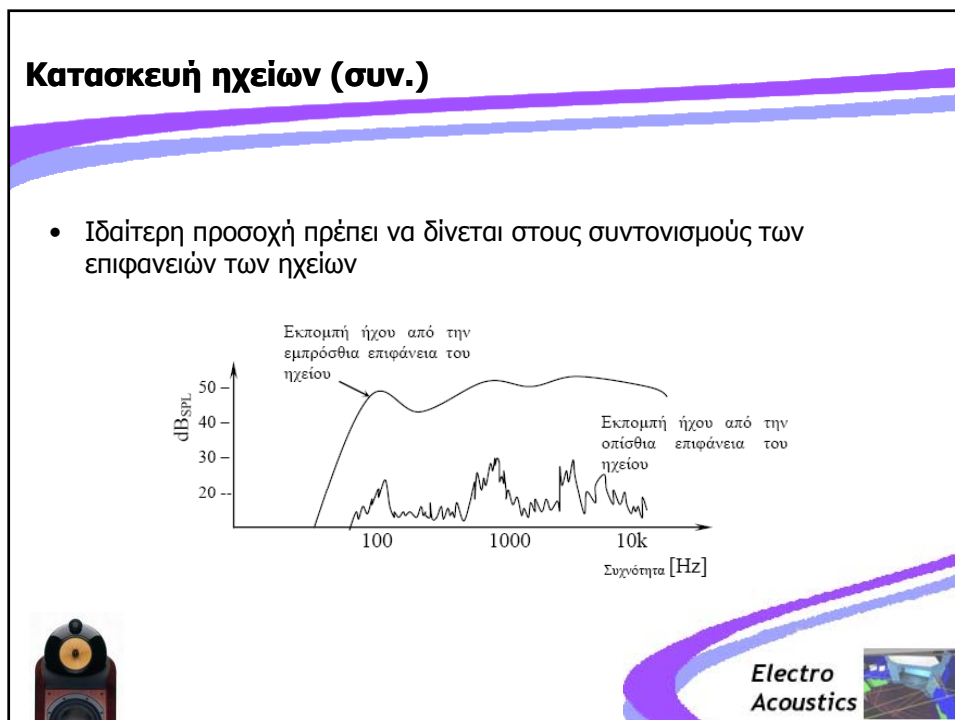
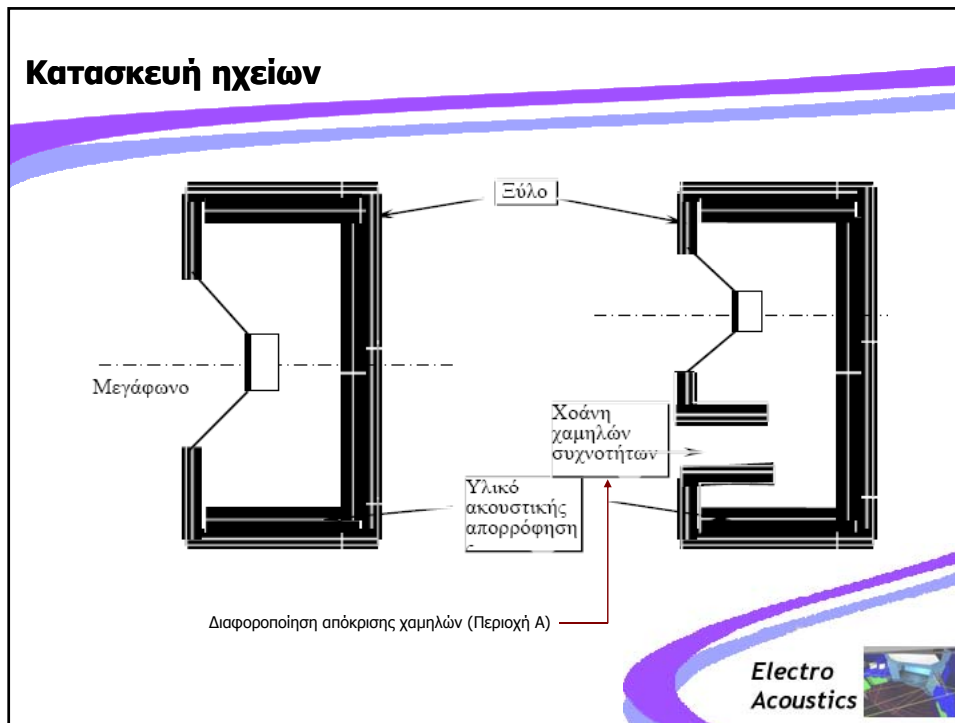
## Γιατί χρησιμοποιούνται ηχεία; (συν.)

- Το ηχείο είναι ένας πεπερασμένων διαστάσεων αποσβεστήρας
  - Εφικτή υλοποίηση
- Η παραγόμενη εκπομπή εξαρτάται από το μέγεθος του ηχείου σε σχέση με το μήκος κύματος του ήχου



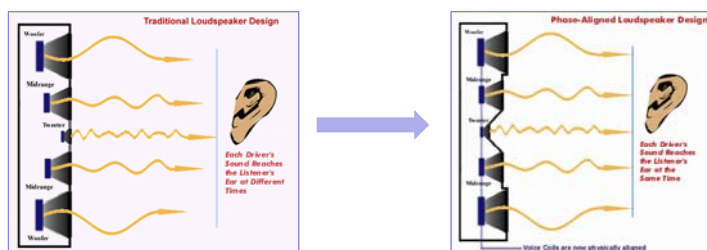
Electro  
Acoustics





## Κατασκευή ηχείων (συν.)

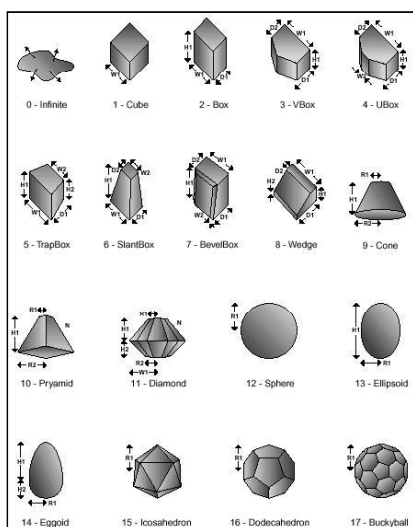
- Λόγω φυσικού μεγέθους, η βάση του διαφράγματος των μεγαφώνων δε βρίσκεται στην ίδια ευθεία
  - Εισαγωγή φασικών διαφορών άφιξης στον ακροατή
- Λύση η τοποθέτηση των μεγαφώνων σε καμπύνη κατάλληλης γεωμετρίας



Electro  
Acoustics



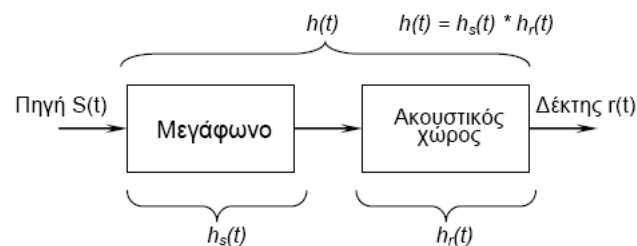
## Τυπικές μορφές καμπίνες ηχείων



Electro  
Acoustics



## Η απόκριση του συστήματος ηχείου



Electro  
Acoustics



## Κρουστική απόκριση ηχείων

- Κρουστική απόκριση κοντινού πεδίου (near field)
  - Η απόσταση μικροφώνου – ηχείου  $d$  πολύ μικρή συγκρινόμενη με το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου ήχου

$$d < 0,11 \cdot \lambda$$

- Όπου  $\lambda$  η ενεργός διάμετρος του μεγαφώνου χαμηλών συχνοτήτων
  - Το μικρόφωνο στοχεύει την μονάδα χαμηλών συχνοτήτων μόνο
- Η μέτρηση δεν επηρεάζεται από ανακλάσεις και περιβαλλοντικό θόρυβο
  - Ιδανική μεθοδολογία για μέτρηση χαμηλών συχνοτήτων

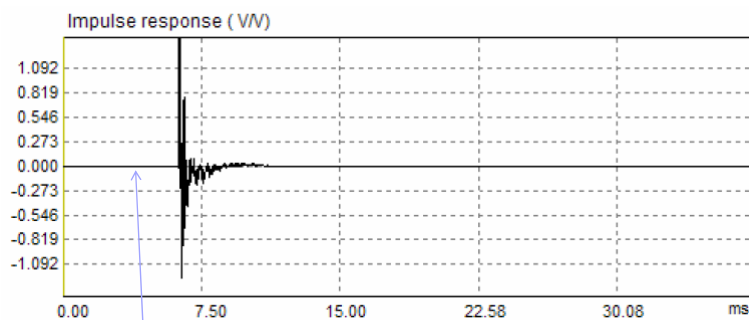
Electro  
Acoustics





## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Κρουστική απόκριση κοντινού πεδίου (near field)



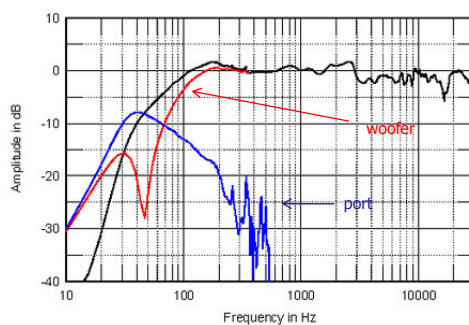
Αρχική καθυστέρηση  
(ανάλογη της  
απόστασης ηχείου -  
μικροφώνου)

**Electro  
Acoustics**



## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Σε περίπτωση ύπαρξης περισσότερων από μίας μονάδας χαμηλών η near field μέτρηση γίνεται για κάθε μία από αυτές
- Τα αποτελέσματα προστίθενται στο μιγαδικό πεδίο

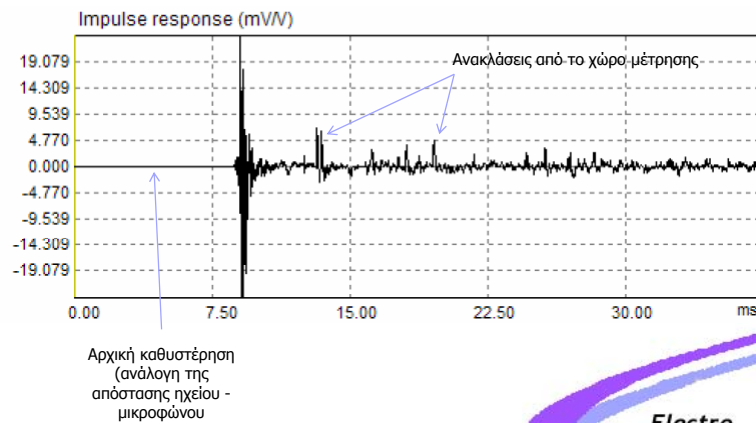


**Electro  
Acoustics**



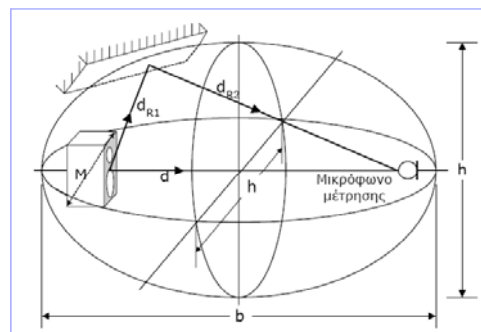
## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Κρουστική απόκριση μακρινού πεδίου (far field)



## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Κρουστική απόκριση μακρινού πεδίου (far field)
  - Η μικρότερη μετρούμενη συχνότητα  $f_L$  καθορίζεται από τη διαφορά της διαδρομής κατευθείαν και ανακλώμενου ήχου (1<sup>η</sup> ανάκλαση)



$$f_L = \frac{c}{d_R - d}$$

Electro Acoustics

## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Η τελική κρουστική απόκριση προκύπτει από την ένωση των near field και far field μετρήσεων
  - Τεχνική ένωσης σε ένα σημείο
    - one-point splicing
  - Τεχνική ένωσης με παρεμβολή σημείων
    - interpolated splicing

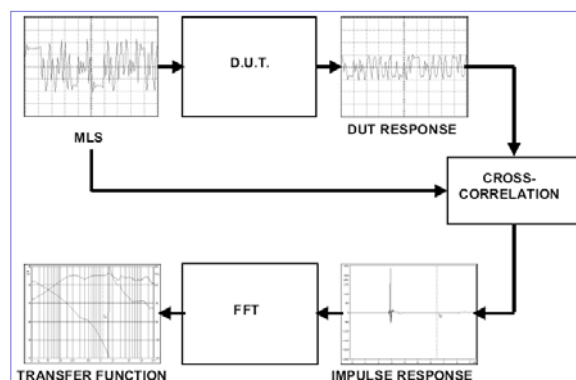


Electro  
Acoustics



## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

- Διαδικασία μέτρησης



Electro  
Acoustics

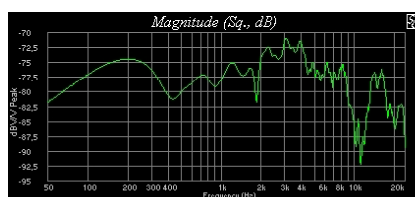
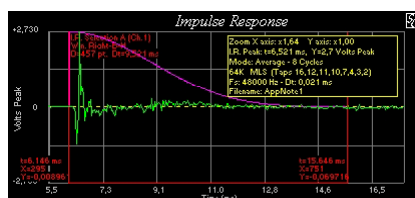


## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

Πεδίο χρόνου



Πεδίο συχνότητας

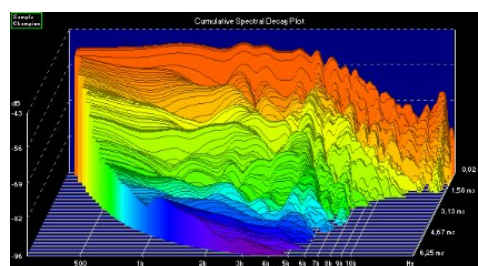


Electro  
Acoustics



## Κρουστική απόκριση ηχείων (συν.)

Διάγραμμα «Καταράχτης»  
Πεδίο συχνότητας



Electro  
Acoustics



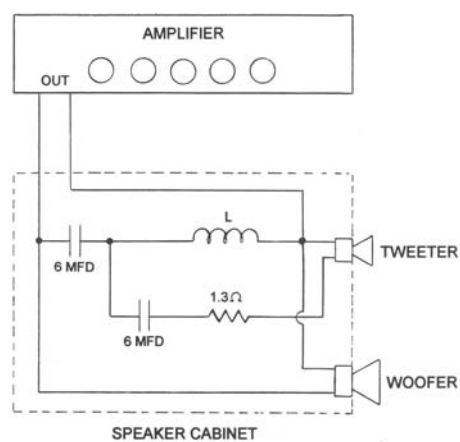
## Συστήματα διαχωρισμού συχνοτήτων

- Τα μεγάφωνα δεν μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων
- Απαραίτητη η χρήση συνδυασμού μεγαφώνων
- Κάθε μεγάφωνο πρέπει να τροφοδοτείται από σήμα με κατάλληλο συχνοτικό περιεχόμενο
  - Διαχωρισμός του σήματος σε περιοχές συχνοτήτων
  - Δικτύωμα διαχωρισμού (cross-over)
    - Παρέχουν έλεγχο ολόκληρης της απόκρισης του συστήματος
    - Δικτυώματα 2 ή 3 δρόμων

Electro  
Acoustics



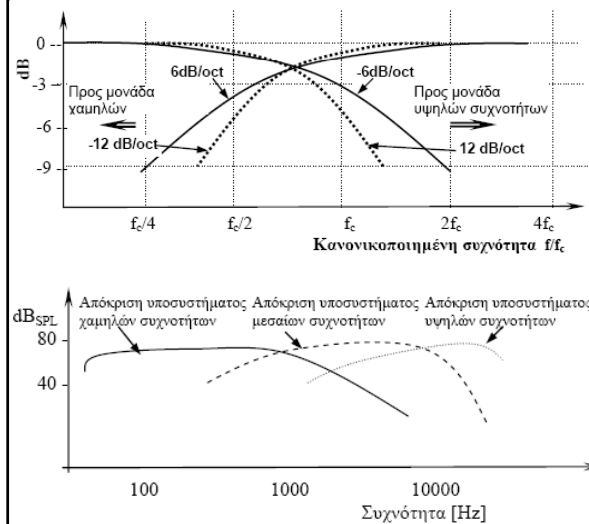
## Συστήματα διαχωρισμού συχνοτήτων (συν.)



Electro  
Acoustics



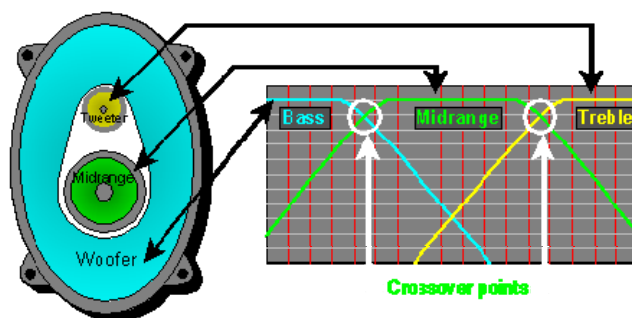
## Συστήματα διαχωρισμού συχνотήτων (συν.)



Electro  
Acoustics



## Συστήματα διαχωρισμού συχνотήτων (συν.)

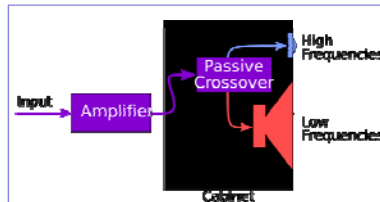


Electro  
Acoustics

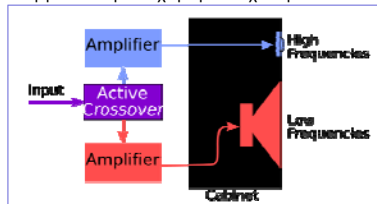


## Συστήματα διαχωρισμού συχνотήτων (συν.)

Παθητικό δικτύωμα διαχωρισμού συχνотήτων



Ενεργό δικτύωμα διαχωρισμού συχνотήτων



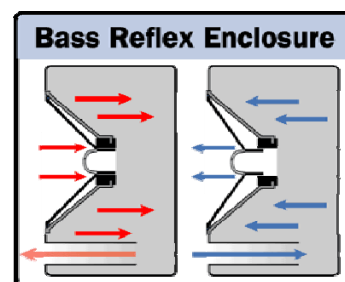
Απαιτείται εξωτερική τροφοδοσία

*Electro  
Acoustics*



## Σύστημα bass-reflex

- Η μετακίνηση του διαφράγματος συνεπάγεται τη δημιουργία δύο πηγών ηχητικού κύματος
  - Η δεύτερη οφείλεται στην ανάκλαση του κύματος στο εσωτερικό της καμπίνας
  - Αύξηση του κέρδους στις χαμηλές συχνότητες
- Βασικό μειονέκτημα ότι μειώνεται η «ακρίβεια» ταλάντωσης του μεγαφώνου
  - Λιγότερο ακριβής ηχητική αναπαραγωγή



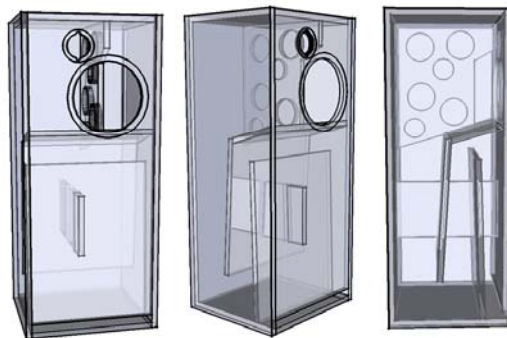
©2003 New-Start Audio

*Electro  
Acoustics*



## Transmission lines

- Μεταβολή της φάσης του εκπεμπόμενου ήχου μέσω της διοχέυσης του από κατάλληλο «κανάλι» οδήγησης (waveguide)

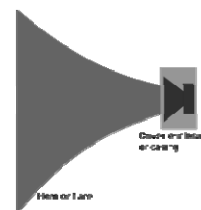


Electro  
Acoustics



## Συστήματα κόρνας

- Συνδυασμός μονάδας μεγαφώνου και κόρνας
- Λειτουργεί ως ακουστικός μετασχηματιστής προσαρμογής
  - προσαρμόζει τη σύνθετη αντίσταση ακτινοβολίας (radiation impedance) του παλλόμενου διαφράγματος του μεγαφώνου στη χαρακτηριστική ακουστική αντίσταση του αέρα ( $=\rho c$ )
  - μεγιστοποίηση της μεταφοράς ηχητικής ισχύος στον περιβάλλοντα χώρο



Electro  
Acoustics





## Συστήματα κórνας (συν.)



Electro  
Acoustics



## Κατηγορίες Ηχείων

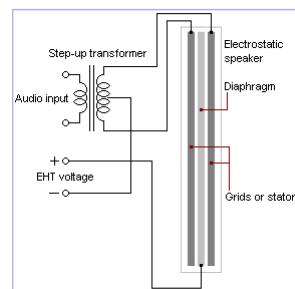


Electro  
Acoustics



## Ηλεκτροστατικά ηχεία

- Λειτουργία που στηρίζεται στην αρχή των ηλεκτροστατικών πεδίων
- Βασική διάταξη:
  - Πολύ λεπτή μεμβράνη (πάχους 5 – 30 εκατομμυριοστά του μέτρου) από συνθετικό πλαστικό (π.χ. mylar)
  - Ηλεκτρική πηγή που φορτίζει θετικά την μεμβράνη
  - 2 παράλληλες ηλεκτρικά αγωγίμες και διάτρητες πλάκες
    - γνωστές και ως στάτορες
    - ακουστικά διαπερατές
  - Η μεμβράνη βρίσκεται ακριβώς στο μέσον της απόστασης μεταξύ των δύο στατόρων

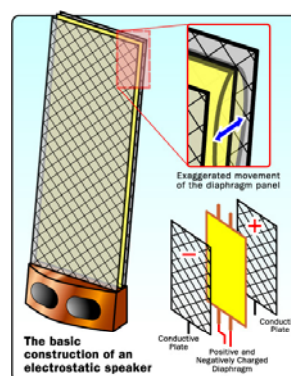


**Electro  
Acoustics**



## Ηλεκτροστατικά ηχεία (συν.)

- Οι δύο στάτορες είναι σνδεδεμένοι με μετασχηματιστή τύπου T έτσι ώστε με την κατάλληλη διέγερση στην είσοδο του μετασχηματιστή να αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών
- Σε κατάσταση ηρεμίας η θετικά φορτισμένη μεμβράνη φορτίζει επαγωγικά αρνητικά τους δύο στάτορες.
- Τα φορτία είναι ίσα και αντίθετα με αυτά της μεμβράνης
  - Έτσι ασκούνται ίσες και αντίθετες δυνάμεις στην μεμβράνη που την αναγκάζουν να είναι ακίνητη



**Electro  
Acoustics**



### Ηλεκτροστατικά ηχεία (συν.)

- Η εφαρμογή διαφοράς δυναμικού στον μετασχηματιστή, δημιουργεί στιγμιαία διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών,
  - και ως αποτέλεσμα οι δυνάμεις που ασκούν οι στάτορες στην μεμβράνη δεν είναι πλέον ίσες
- Η μεμβράνη τότε κινείται προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης δύναμης αναγκάζοντας όμως και τον αέρα να κινηθεί προς την ίδια πλευρά (πύκνωμα)

Electro  
Acoustics



### Ηλεκτροστατικά ηχεία (συν.)

- Αν και λεπτά, σχετικά μεγάλα σε μέγεθος
- Απαιτείται προσοχή στην εγκατάστασή τους
  - Τοποθέτηση σε τουλάχιστον 1 μέτρο από τον πίσω τοίχο
    - Λειτουργία σαν διπολική πηγή
  - Οι πλαϊνοί τοίχοι δεν επηρεάζουν
- Απαιτείται επίσης προσοχή στην επιλογή του ενισχυτή οδήγησης
  - Προβλήματα οδήγησης ειδικά σε υψηλές συχνότητες
- Υψηλό κόστος



Electro  
Acoustics



## Ηλεκτροστατικά ηχεία (συν.)

- Πολύ καλή ακουστική ευκρίνεια
  - Ειδικά στις υψηλές συχνότητες
  - Λόγω της πολύ μικρής μάζας του διαφράγματος
    - Μερικά mgr
- Εξαιρετική απόκριση συχνότητας
  - Σε όρους πλάτους και φάσης
- Full-range σχεδιάσεις
  - Αποφυγή δικτυωμάτων διαχωρισμού



Electro  
Acoustics



## Μαγνητοστατικά ηχεία

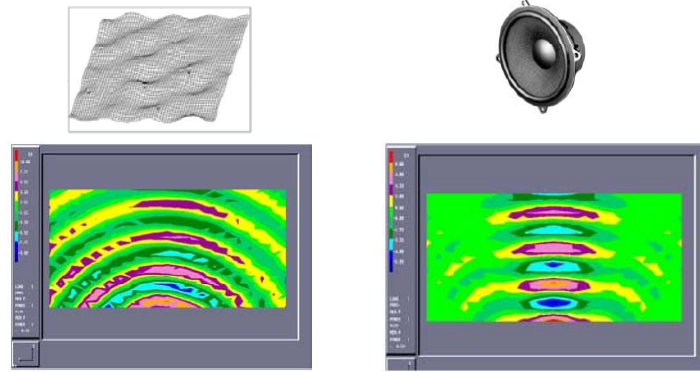
- Χρήση μεμβράνης (διαφράγματος) αντίστοιχης με αυτήν των ηλεκτροστατικών
  - Το διάφραγμα περιέχει μέσα του ένα δίκτυο λεπτότατων αγωγών που διαρέεται από ρεύμα
    - πολύ βαρύτερο από ότι στα ηλεκτροστατικά
- Η κίνηση γίνεται εντός μαγνητοστατικού πεδίου
- Δεν απαιτείται υψηλή τάση τροφοδοσίας
  - Περιορισμός του κόστους σε σχέση με τα ηλεκτροστατικά



Electro  
Acoustics



## Distributed Mode Loudspeakers (DMLs)



Electro  
Acoustics



## Distributed Mode Loudspeakers (συν.)



Electro  
Acoustics



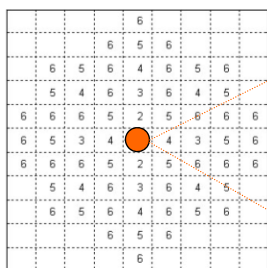
## Ψηφιακά ηχεία

- Αναπαραγωγή ψηφιακών σημάτων χωρίς «απευθείας» ψηφιακό-σε-αναλογικό μετατροπή
- Πρώτη εμφάνιση 1963, C.Roberts
  - Σήμα εισόδου PCM
- Υπάρχουσες τεχνολογίες ψηφιακών ηχείων
  - Multiple Voice Coil Digital Loudspeaker (MVCDL)
    - Η ψηφιακό-σε-αναλογικό μετατροπή γίνεται αμέσως πριν την ηλεκτροακουστική μετατροπή
  - Digital Transducer Arrays (DTA)
    - Η ψηφιακό-σε-αναλογικό μετατροπή γίνεται αμέσως μετά την ηλεκτροακουστική μετατροπή (στον αέρα)

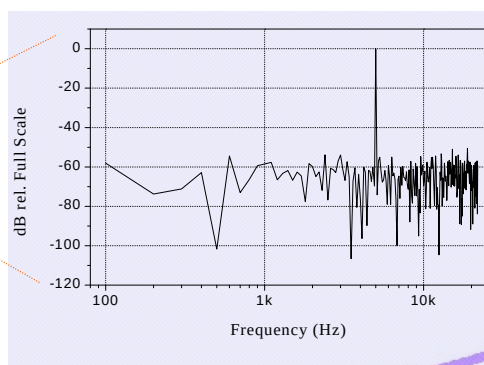
**Electro  
Acoustics**



## Ψηφιακά ηχεία (DTAs)



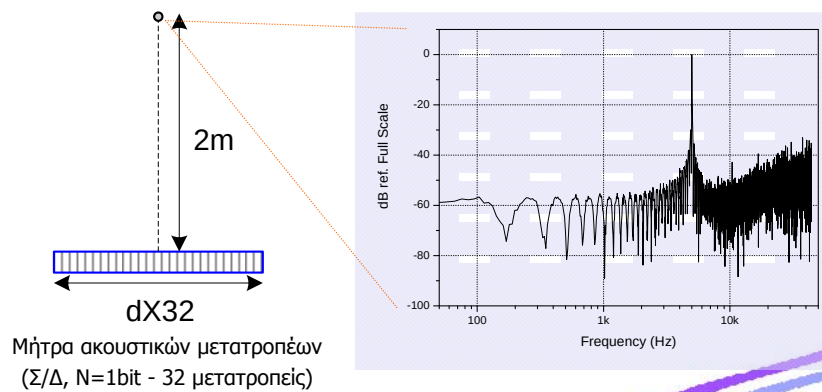
Μήτρα ακουστικών μετατροπέων  
(PCM, N=6bit - 64 μετατροπείς)



**Electro  
Acoustics**



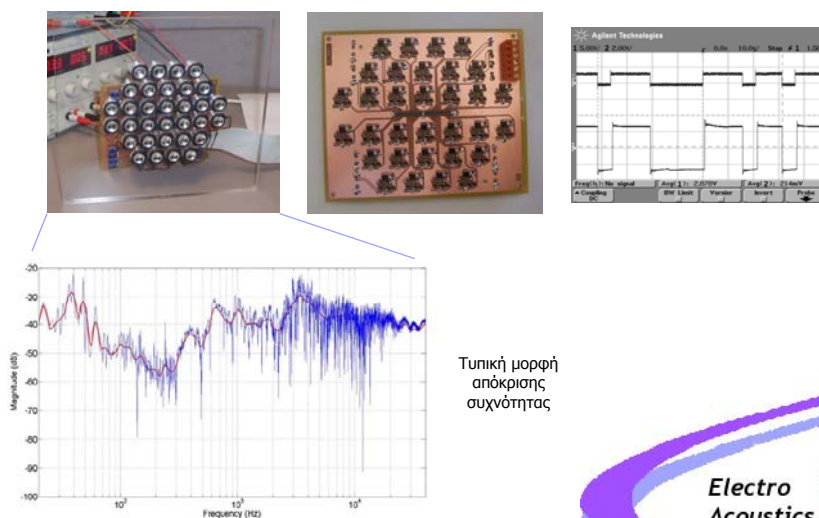
## Ψηφιακά ηχεία (DTAs)



**Electro  
Acoustics**



## Ψηφιακά ηχεία (DTAs)

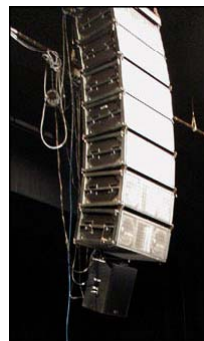
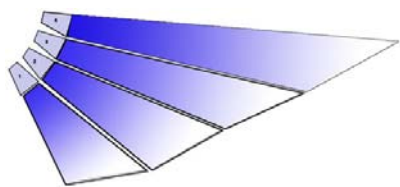


**Electro  
Acoustics**



## Line arrays

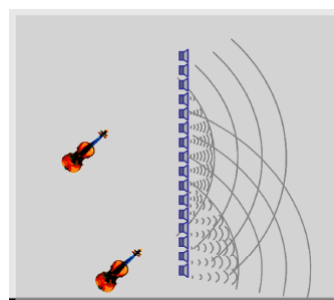
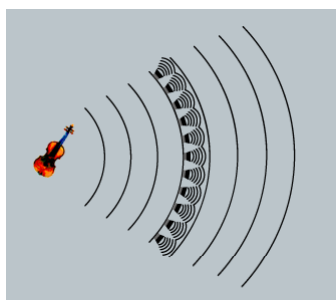
- Πολλαπλές μονάδες μεγαφώνων / ηχείων σε οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη
- Καλύτερη κάλυψη ακροατηρίου
- Επίτευξη σύνθετων / επιθυμητών τύπων κατευθυντικότητας



Electro  
Acoustics



## Wavefield arrays



Electro  
Acoustics





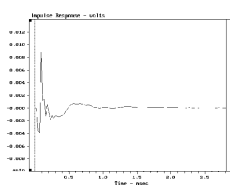
## Ειδικά θέματα χρήσης ηχείων

**Electro  
Acoustics**

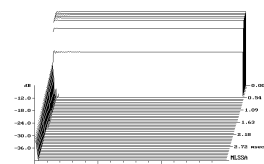
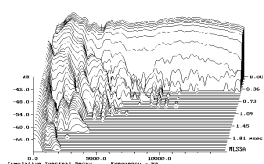
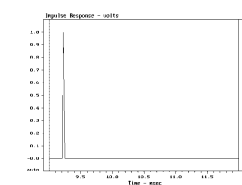


## Ψηφιακή ισοστάθμιση ηχείων

Πριν



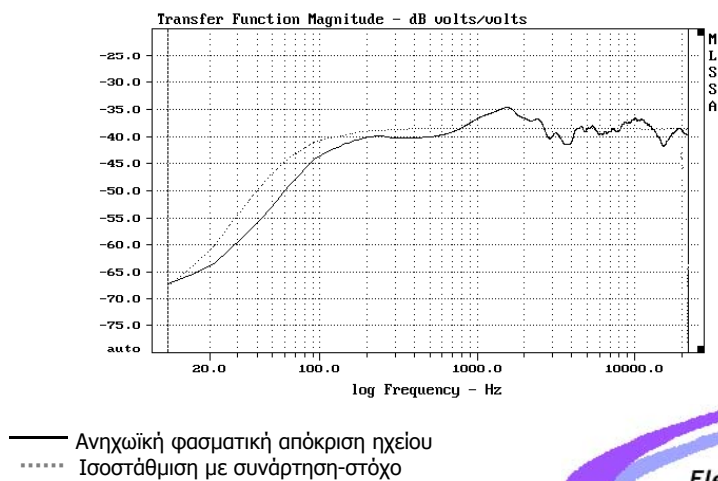
Μετά



**Electro  
Acoustics**



## Ισοστάθμιση με συνάρτηση στόχο



Electro  
Acoustics



ΤΕΛΟΣ (για σήμερα...)



Electro  
Acoustics



