

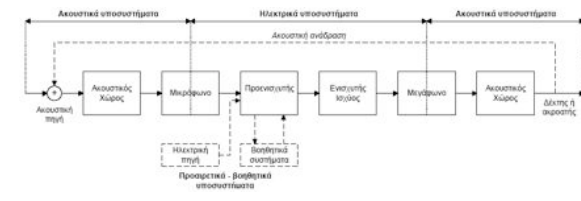
Τεχνολογία Ήχου

Διάλεξη 3: “Ακουστικοί Μετατροπείς - Μέρος Α”

Φλώρος Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

Από προηγούμενο μάθημα...

- Κάθε ηχητικό σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως διαδοχή επιμέρους
 - Ακουστικών υποσυστημάτων
 - Ηλεκτρικών υποσυστημάτων
 - Ηλεκτροακουστικών υποσυστημάτων



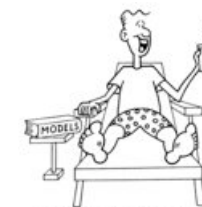
Αναλογίες στοιχείων και συστημάτων

- Τα ηχητικά συστήματα αποτελούνται από υποσυστήματα
 - Ηλεκτρικά
 - Μηχανικά
 - Ακουστικά
- Μοντέλα ηχητικών συστημάτων
 - Αναπαράσταση των ηχητικών συστημάτων ως ισοδύναμων ηλεκτρικών κυκλωμάτων με στόχο την ανάλυση της λειτουργίας τους, ανεξάρτητα από το φυσικό μηχανισμό λειτουργίας των επιμέρους υποσυστημάτων τους

Γιατί μοντελοποίηση;



Some models are very attractive.












Modeling sound is more relaxing than measuring sound.

Αναλογίες στοιχείων και συστημάτων (2)

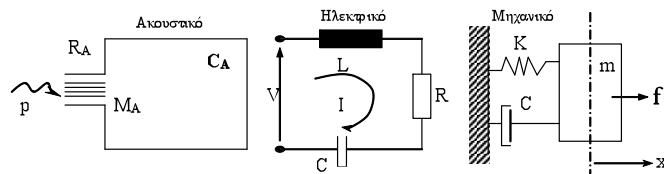
- Τα ηλεκτρικά κυκλώματα αποτελούνται από τα παρακάτω βασικά στοιχεία
 - Αντιστάσεις
 - Πυκνωτές
 - Πηνία
 - Πηγές τάσης
 - Πηγές ρεύματος
- Τα αντίστοιχα ακουστικά μεγέθη είναι
 - Ακουστική πίεση -> Ηλεκτρική τάση
 - Ταχύτητα όγκου -> Ηλεκτρικό ρεύμα

Αναλογίες στοιχείων και συστημάτων (3)

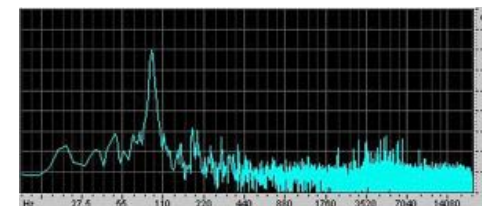
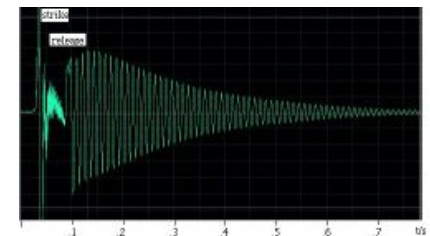
Ηλεκτρικά	Μηχανικά	Ακουστικά
Αυτεπαγωγή L 	Μάζα m 	Αντίδραση M _A 
Χωρητικότητα C 	Ενδοτικότητα C _m = 1/k 	Υποχωρητικότητα C _A 
Αντίσταση R 	Απόσβεση R _A 	Αντίσταση R _A 

Αναλογίες στοιχείων και συστημάτων (4)

- Βασικός συντονιστής

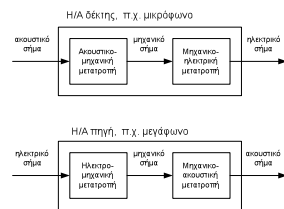


Απόκριση δοχείου Helmholtz



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

Λίγη ιστορία...

- Τα πρώτα συστήματα Η/Α μετατροπών
 - Phonoautograph
 - ▶ Leon Scott
 - ▶ Καταγραφή του ήχου σε παλλόμενη μεμβράνη με σταθερή πένα
 - ▶ Αδύνατη η αναπαραγωγή
 - Phonograph (μηχανο-ακουστικό σύστημα φωνόγραφου)
 - ▶ Thomas Edison
 - ▶ Εγγραφή σε κύλινδρο μαλακού υλικού (π.χ. Κερί)
- Bell (σύστημα τηλεφώνου) – 1880
 - Βάση η θεωρία του Maxwell



Λίγη ιστορία (2)

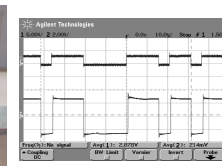
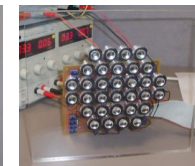
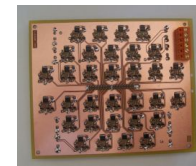
- Ηλεκτροδυναμικοί μετατροπείς (δεκαετία 1920)
 - Olson, Rice/Kellog
- Εναλλακτικές μέθοδοι μετατροπής
 - Πιεζοηλεκτρικοί
 - Distributed Mode Loudspeakers (1997)
 - ▶ Η επιφάνεια εκπομπής δεν συμπεριφέρεται ως «συμπαγής»
- Ψηφιακά ηχεία (2000 – σήμερα)
 - Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό στο ηχείο



www.sppresound.co.uk

Λίγη ιστορία (3)

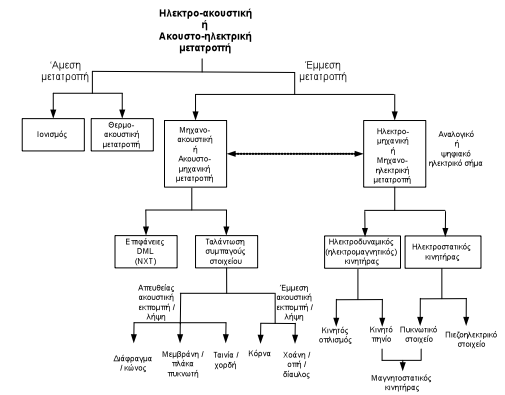
- Ψηφιακά ηχεία



Λίγη ιστορία (4)

- Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία υπερηχητικής εκπομπής
 - Soundbeam
 - Ο ήχος αποδιαμορφώνεται από το ίδιο το μέσο (αέρα)
- Μεγάφωνα ιονισμού
 - Εκφόρτιση ηλεκτρικού σήματος μέσω ηλεκτροδίων
 - ▶ Φαινόμενο Corona
 - ▶ ... Όπως ο ήχος από έναν κεραυνό
- Θερμοακουστική εκπομπή

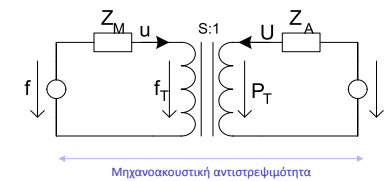
Μέθοδοι ηλεκτροακουστικής εκπομπής



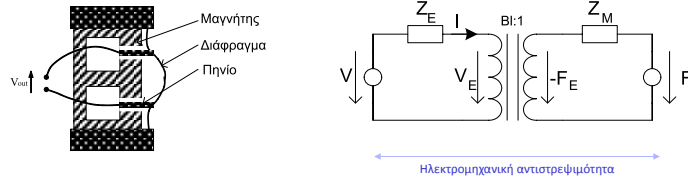
Παραδείγματα Ηλεκτροακουστικής Μετατροπής

Μηχανο/ακουστική μετατροπή

- Δίσκος επιφάνειας S στον οποίο εφαρμόζεται δύναμη $f(t)$ και κινείται με ταχύτητα $u(t)$



Ηλεκτρο/μηχανική μετατροπή



Ευαισθησία μετατροπέων

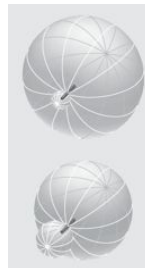
- Ορίζεται ως «ο λόγος του παραγόμενου έργου προς την εισερχόμενη ενέργεια»
- Αποτελεί μέτρο της απόδοσης του μετατροπέα
- Καθορίζει την απόκρισή του
 - Π.χ. για μικρόφωνα
 - $S=(V/P)_{f=0}$
- Συνήθως εκφράζεται σε dB

$$SL = 20 \log \frac{S}{S_{ref}}$$

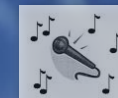
- $S_{ref} = 1V/Pa$

Κατευθυντικότητα μετατροπέων

- Γενικά, για ηλεκτροακουστικούς μετατροπείς, η ευαισθησία εξαρτάται από
 - τη διεύθυνση ως προς τον άξονά τους
 - τη συχνότητα
- Η μεταβολή της ευαισθησίας εκφράζεται ως κατευθυντικότητα του μετατροπέα
 - Συνάρτηση $H(\theta, \phi)$ ή $S(\theta, \phi)$
 - Παράδειγμα:
 - ▶ Για ένα μεγάφωνο ισχύει: $P(r, \theta, \phi) = P(r) * H(\theta, \phi)$



Μικρόφωνα



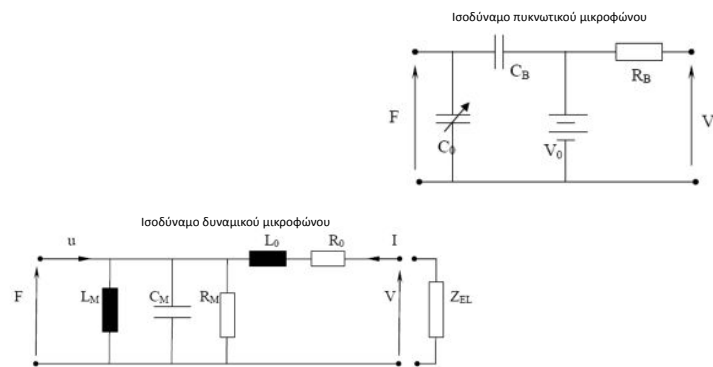
Το μικρόφωνο ως μετατροπέας

- Μετατροπή ακουστικής ενέργειας σε ηλεκτρική
- Βασικό στοιχείο μετατροπής: το διάφραγμα
 - Μετατρέπει την μεταβολή της ακουστικής πίεσης σε ηλεκτρική τάση
- Κατηγορίες μικροφώνων
 - Ηλεκτροδυναμικά
 - Κινητού πηνίου ή ταινίας (ribbon)
 - Ηλεκτροστατικά (πυκνωτικά)
 - Πιεζοηλεκτρικά
 - Κρυσταλλικά
 - ▶ Μεταβολή αντίστασης σώματος κρυστάλλων λόγω άσκησης πίεσης

Το μικρόφωνο ως μετατροπέας (2)

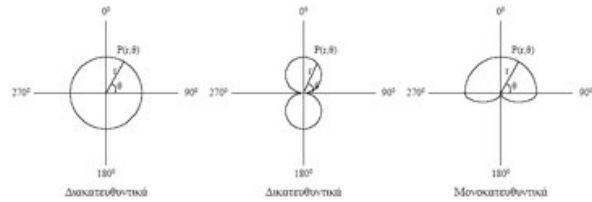


Ισοδύναμα κυκλώματα μικροφώνων



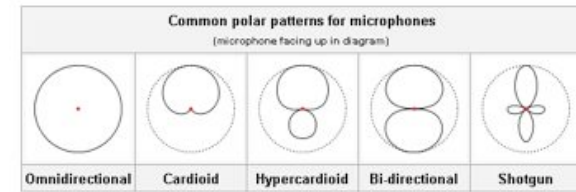
Βασικά χαρακτηριστικά μικροφώνων

Κατευθυντικότητα μικροφώνων

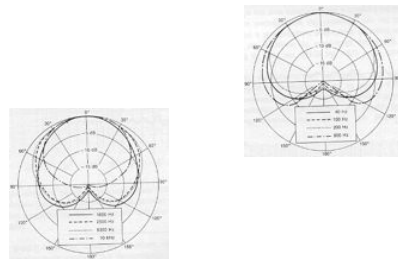


- Η κατευθυντικότητα οφείλεται στο φαινόμενο της επανεκπομπής από το διάφραγμα και εξαρτάται από τη συχνότητα

Κατευθυντικότητα μικροφώνων (2)

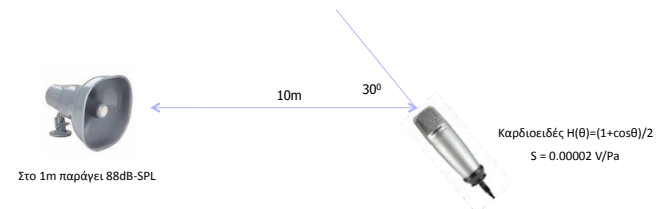


Κατευθυντικότητα μικροφώνων (3)



Παράδειγμα #1

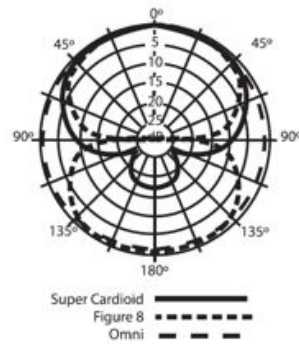
- Δίνεται το παρακάτω διάγραμμα:



- Ποιά η τάση στην έξοδο του μικροφώνου;

Παράδειγμα #2

- Χρήση διαγράμματος κατευθυντικότητας



Στάθμες ηχητικών σημάτων

- dBV
 - Αντιστοιχεί σε τάση 1V (rms) η οποία απαιτείται για την παραγωγή ισχύος 1mW σε φορτίο kΩ
 - ▶ Π.χ. -10dBV αντιστοιχούν σε 0.316Volt
- dBu (unloaded)
 - Αντιστοιχεί σε τάση 0.7746V (rms) που απαιτείται για την παραγωγή ισχύος 1mW σε φορτίο 600Ω

Στάθμες ηχητικών σημάτων (2)

- Στάθμη μικροφώνου
 - Πολύ χαμηλής ισχύος σήματα
 - ▶ Η ηλεκτρική τάση που παράγεται από ένα μικρόφωνο
 - ▶ Της τάξης των mV (έως και -20dBu)
- Στάθμη γραμμής
 - Τάση της τάξης των Volt (από -20dBu έως +30dBu)
 - Τυπικές στάθμες -10dBu (245mV), +4dBu (1.23V), +8dBu (1.95V)
- Στάθμη ισχύος (σήματα μεγαφώνων)
 - Μεγέθη πέραν των +30dBu (24.5V)



Ευαισθησία μικροφώνων

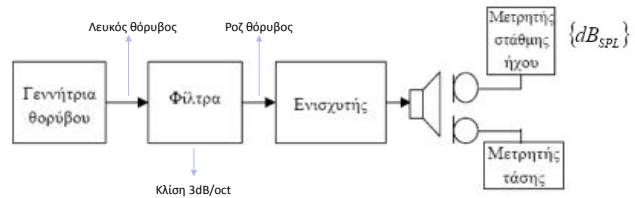
- Ορισμός ευαισθησίας μικροφώνων

$$S = \left(\frac{V}{P} \right)_{I=0}$$

- Ορισμός στάθμης ευαισθησίας μικροφώνων

$$S.L. = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{ref}} \quad \text{ref} = 1V/1Pa$$

Μέτρηση ευαισθησίας μικροφώνων



$$S.L. = 20 \log_{10} V + 94 - \{dB_{SPL}\} \quad (\text{αναφορά το 1V και 1Pa})$$

$$S.L. = 20 \log_{10} V + 74 - \{dB_{SPL}\}, \quad (\text{αναφορά το 1V και 0.1Pa})$$

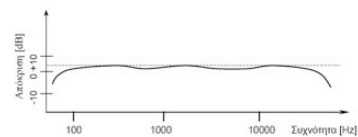
Π.χ. Για $V=1\text{mV}$ και $\{dB_{SPL}\}=94\text{dB}$, τότε $S.L.=-80\text{dB}$ (με αναφορά το 1V και 0.1Pa)

Μέτρηση ευαισθησίας μικροφώνων (2)

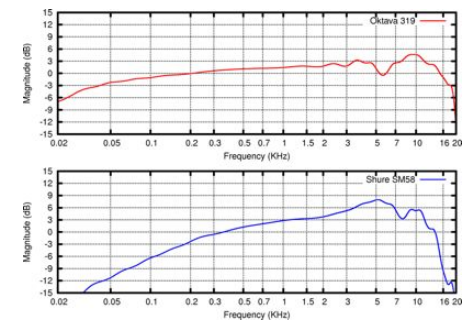
ΣΤΑΘΜΗ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ dB_{SPL}	ΕΞΟΔΟΣ ΤΑΣΗΣ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟΥ (V)	ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟΥ dB (ref = 1 V/Pa)
100	200 mV	-40
90	100 mV	-50
80	10 mV	-60
70	1 μV	-70
60	100 μV	-80
50	10 μV	-90
40	1 μV	-100
30		-110

Απόκριση συχνότητας μικροφώνων

- Μέτρηση της τάσης εξόδου συναρτήσει της συχνότητας
 - Παραγωγή τόνων μεταβλητής συχνότητας πολύ κοντά στο διάφραγμα
 - Σταθερή μέση ηχητική πίεση ανά τόνο (π.χ. 104dB-SPL)
 - Μέτρηση της τάσης εξόδου

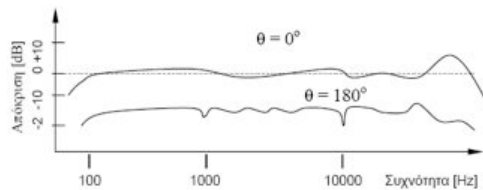


Απόκριση συχνότητας μικροφώνων (2)



Απόκριση συχνότητας μικροφώνων (3)

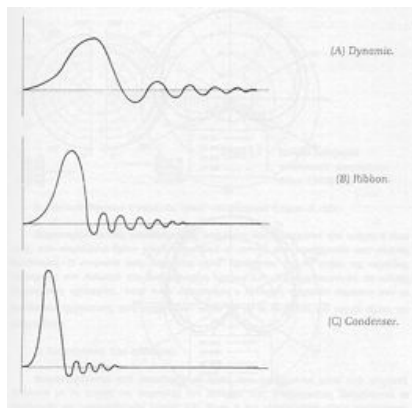
- Λόγω κατευθυντικότητας, η απόκριση μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης
 - Π.χ. για καρδιοειδές μικρόφωνο:



Απόκριση σε απότομες μεταβολές

- Transient response
 - Πόσο ευαίσθητο είναι ένα μικρόφωνο σε απότομες μεταβολές της πίεσης
- Εξάρτηση από
 - Μάζα διαφράγματος
 - ▶ Π.χ. 1.5mg στα πυκνωτικά
 - ▶ 75mg για τα δυναμικά
 - Συντελεστή απόσβεσης του μετατροπέα
- Η μορφή της απόκρισης αυτής καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την τελική ποιότητα του ήχου

Απόκριση σε απότομες μεταβολές (2)



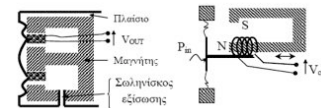
Φαινόμενο εγγύτητας

- Proximity effect
 - Ενίσχυση των χαμηλών συχνοτήτων συχνοτήτων όταν η απόσταση μικροφώνου - πηγής είναι μικρή
 - Αποστάσεις μικρότερες από 50 εκατοστά
 - Μόνο για κατευθυντικά μικρόφωνα
 - Αύξηση μέχρι και 16dB σε χαμηλές συχνότητες
 - Μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση
- Οι υψηλότερες συχνότητες ακυρώνονται σε μικρές αποστάσεις, οι χαμηλές όχι

Κατηγορίες μικροφώνων

Δυναμικά (moving coil) μικρόφωνα

- Ο πλέον χρησιμοποιούμενος τύπος μικροφώνου
 - Φθηνά
 - Αξιόπιστα
- Χαμηλός λόγος σήματος προς θόρυβο
- Πρώτες κατασκευές το 1920
- Εμπορική διάθεση το 1930

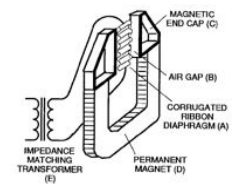


Δυναμικά (moving coil) μικρόφωνα (2)



Δυναμικά μικρόφωνα ταινίας (ribbon)

- Η πλέον απλή και φθηνή υλοποίηση
 - Το διάφραγμα και η μεταλλική επιφάνεια ταυτίζονται
- Απαραίτητη η χρήση μετασχηματιστή
- Αύξηση της ωμικής αντίστασης που «βλέπει» ο προενισχυτής
- Αύξηση της τάσης εξόδου προς τον προενισχυτή μικροφώνου

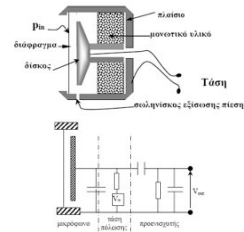


Πυκνωτικά (condenser) μικρόφωνα

- Εμπορική χρήση το 1920
- Χαρακτηριστικά απόδοσης
 - πολύ υψηλή πιστότητα
 - επίπεδη απόκριση
 - μικρό θόρυβο
 - ικανοποιητική ευαισθησία
- Η ευαισθησία δίνεται από τη σχέση

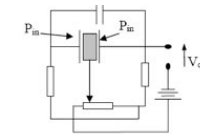
$$S \cong \frac{v_0}{x_0} \frac{R^2}{8F_T}$$

- F_T η μηχανική τάση του διαφράγματος
- x_0 η απόσταση διαφράγματος-δίσκου
- v_0 η τάση πάλωσης
- R η ακτίνα του διαφράγματος
- Αύξηση της ακτίνας αλλοιώνει την απόκριση στις υψηλές συχνότητες



Πυκνωτικά μικρόφωνα (2)

- Γενικά, τα πυκνωτικά μικρόφωνα είναι διακατευθυντικά
 - omnidirectional
- Διακατευθυντικά μικρόφωνα με χρήση διαφραγμάτων σε αντιδιαμετρικές θέσεις
 - Π.χ. μικρόφωνο Neuman

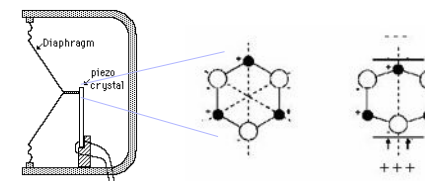


Μικρόφωνα άνθρακα

- Το διάφραγμα συμπιέζει έναν όγκο κόκκων άνθρακα
- Η μεταβολή του όγκου ισοδυναμεί με αλλαγή της αντίστασης
- Υπό σταθερή τάση παράγεται μεταβλητό ρεύμα
- Κατάλληλο για μαζική παραγωγή
 - Χαμηλό κόστος
 - Χαμηλή ποιότητα (πολύ υψηλή παραμόρφωση)

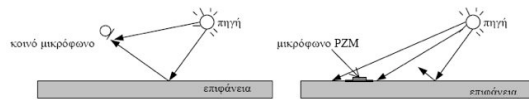
Πιεζοηλεκτρικά μικρόφωνα

- Αρχή λειτουργίας το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο
 - Ορισμένα κρυσταλλικά υλικά παράγουν τάση όταν τους ασκηθεί μηχανική εναλλασσόμενη πίεση
- Χρήση διαφράγματος για δημιουργία μηχανικής πίεσης



Μικρόφωνα επιφανείας

- Pressure Zone Microphones (PZM)
- Μονοκατευθυντική λειτουργία με ημισφαιρική κατευθυντικότητα



$$h(t) = \delta(t) + A \cdot \delta(t - t_0)$$

Μικρόφωνα μεταβλητής κατευθυντικότητας

- Επίτευξη επιθυμητής κατευθυντικότητας
 - Συνδυασμός διαφορετικών μετατροπέων
 - ...ή ειδικά συστήματα επιλογής διαφορετικών μορφών κατευθυντικότητας



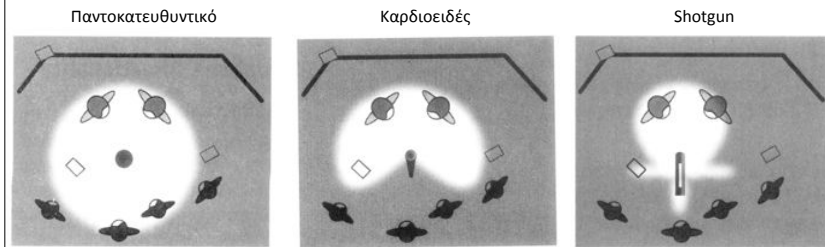
Μικρόφωνα μεταβλητής κατευθυντικότητας



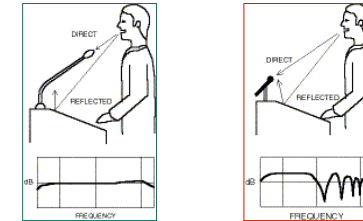
Χρήση μικροφώνων



Ο παράγοντας “κατευθυντικότητα”



Ο παράγοντας “κατευθυντικότητα” (2)



Απόσταση τοποθέτησης

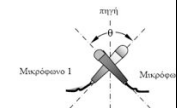
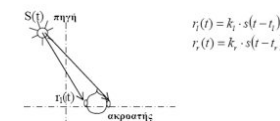
- Πόσο κοντά πρέπει να τοποθετηθεί ένα μικρόφωνο σε σχέση με την πηγή;
 - Όσο το δυνατό πιά κοντά (close miking)
 - Για την περίπτωση ομιλητή ~20 εκατοστά



- Μεγιστοποίηση λόγου σήματος προς θόρυβο
- Ηχογράφηση «ξεχωριστών» πηγών
- Αποφυγή ακουστικής ανάδρασης

Το ακουστικό είδωλο

- Ο ήχος είναι υποκειμενικά καλύτερα αποδεκτός εάν διατηρηθεί η πληροφορία της σχετικής θέσης ακουστικής πηγής-δέκτη (ακροατή)
- Αγνοώντας την επίδραση του χώρου ηχογράφησης καθοριστικό ρόλο παίζουν
 - Οι σχετικές εντάσεις
 - Η σχετική καθυστέρηση άφιξης του ήχου στο κάθε αυτί




Τεχνικές στερεοφωνικής ηχογράφησης

- Stereo Miking

- Χρήση δύο μικροφώνων για την καταγραφή του ειδώλου των ακουστικών πηγών
 - ▶ X – Y recording
 - ▶ M – S (Mid-Side) recording
 - ▶ Τεχνική Blumlein
 - ▶ A – B recording
 - ▶ ORTF
 - ▶ Decca Tree




Ανδρέας Φλώρος
floros@ionio.gr
<http://www.ionio.gr/~floros>