



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Εργασία στο μάθημα 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα-Ηχεία'

Διδάσκοντες:

Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης, Καθηγητής Πανεπιστημίου
Αθηνών

Ιωάννης Μαλαφής, Καθηγητής Μ/Ε

ΘΕΜΑ:

Τα μικρόφωνα :
Κατηγορίες και χαρακτηριστικά

Συγγραφική εργασία των φοιτητών : Κάβουρας Γιώργος (Α.Μ.230025)

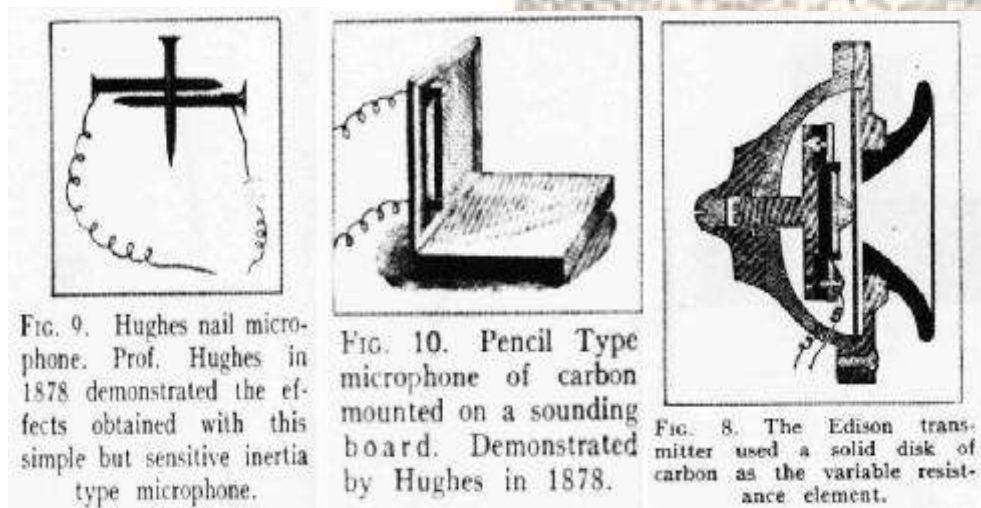
Εξάμηνο Ε'

Πλιάκα Ισμήνη (Α.Μ.210044)

Εξάμηνο Θ'

ΑΘΗΝΑ 2006

1. Σύντομα ιστορικά στοιχεία:



Η ανάπτυξη της φωνητικής και ενόργανης μουσικής στις αρχές και κατά τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα, φέρει ως αποτέλεσμα την αναζήτηση τρόπων με τους οποίους ο ήχος θα ήταν καθαρότερος, λαμπρότερος και με μεγαλύτερη καλαισθησία. Γύρω στο 1827, ο Wheatstone χρησιμοποίησε για πρώτη φορά την λέξη 'μικρόφωνο' για μια ακουστική συσκευή που ενίσχυε τους αδύναμους ήχους. Ο καθηγητής Hughes, στο Λονδίνο, το Μάιο του 1878, δίνει συνέχεια στον όρο 'μικρόφωνο' χρησιμοποιώντας πρώτα, τρία μεταλλικά καρφιά, που το ένα ήταν σε χαλαρή επαφή, κάθετα στα άλλα δύο, τα οποία ήταν συνδεδεμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η συσκευή αυτή ήταν ευαίσθητη σε οποιαδήποτε δόνηση ή παλμό, στον αέρα. Γι' αυτό το λόγο, τα τρία μεταλλικά καρφιά αντικαταστάθηκαν, από μια επεξεργασμένη και στα δυο άκρα, ράβδο άνθρακος, μονταρισμένη σε ένα διπλό ελαστικό υπόστρωμα. Ο αδρανής μεταβιβαστής ήταν πολύ ευαίσθητος, καθώς και οι επιδράσεις του κινητού στοιχείου, τύπου άεργης αντίστασης μάζας. Από μια, οι ράβδοι από άνθρακα έγιναν 6 ή 12 και συνδέονταν ηλεκτρικά σε σύνθετες σειρές. Τοποθετημένες έτσι, βρίσκονταν μονταρισμένες σε ελαφριά ξύλινα κουτιά, από πεύκο.

Πέρα από την μετάδοση της ομιλίας που ήταν ο πρώτος και βασικός στόχος όλων των κατασκευών, εκείνη την εποχή, το 1881, στην έκθεση για τον ηλεκτρικό φωτισμό στον χώρο της Παριζιάνικης Grand Opera, 4 ζευγάρια τέτοιων σύνθετων συσκευών, κατάφεραν να μεταδώσουν παράλληλα παράσταση όπερας. Ο σχεδιασμός του C. Ader, όπως φαίνεται στην φωτογραφία, έδειχνε τα σύνθετα του μικρόφωνα μπροστά από τα φώτα δαπέδου. Η μετάδοση έγινε ταυτόχρονα σε 4 μεγάλα δωμάτια του ίδιου κτιρίου χρησιμοποιώντας 80 binaural telephones ή κατά τη σύγχρονη ορολογία, ακουστικά (στερεοφωνικά). Στην ιστορία ήταν η πρώτη ηλεκτροακουστική εμπειρία, για κάθε ακροατή. Σε κείμενο της εποχής (1932),

αναφέρεται : 'άρχισε να σχηματίζεται στο μυαλό του (ακροατή) η τοποθέτηση των τραγουδιστών, σε σταθερές αποστάσεις, ορισμένοι αριστερά και άλλοι δεξιά. Ήταν εύκολο να παρακολουθούνται οι κινήσεις τους με τις ανάλογες αποστάσεις μεταξύ των καλλιτεχνών'.

Η αναφορά αυτή, περιγράφει την πρώτη χρήση παραταγμένων μικρόφωνων / microphone arrays.

Τα τηλέφωνα, είναι ακόμα μια παράλληλη ιστορία των μικροφώνων . Ο γνωστός όλων εφευρέτης Alexander Graham Bell, κατάφερε να συγκεντρώσει όλη την έρευνα του (και των παράλληλων εργασιών άλλων εφευρετών) σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, με τίτλο "Βελτίωση του φωνογράφου και των φωνητικών μηχανών", δηλαδή του τηλεφώνου. Χρησιμοποιεί μια φωνητική μεμβράνη και για την ηλεκτρική λήψη / μετάδοση της ομιλίας, μιμείται την εσωτερική κατασκευή του αυτιού. Τα ηχητικά κύματα της φωνής διαμορφώνουν μια αντίσταση, που διαπερνάται από ρεύμα έτσι ώστε οι αλλαγές στην ροή του ρεύματος να ακολουθούν αρκετά πιστά τις αλλαγές της πίεσης του αέρα. Οι δονήσεις της οριζόντιας λεπτής μεμβράνης η οποία είναι κολλημένη σ' ένα μικρό πλατινένιο σύρμα προς ένα αγώγιμο δοχείο με νερό , ήτανε ικανές να μεταφέρουν τότε μια φράση προς τον βοηθό του Bell - "Mr.Watson come here. I want you".

Τοποθέτηση λεπτού μαλακού ελαστικού, μεταξύ μεμβράνης και συμπαγούς άνθρακα είχε ως αποτέλεσμα βελτίωση της συσκευής. Η ευαισθησία της ήταν μικρή και βελτιώθηκε όταν ο άνθρακας έγινε σε μορφή σκόνης. Παρ' όλο που το όνομα του Bell έγινε παντού γνωστό λόγω της εφεύρεσής του, οι συσκευές βελτιώθηκαν αργότερα και από άλλους επιστήμονες (ένας από αυτούς είναι ο Edison και ο καθηγητής Blake). Το 1888, τα τηλέφωνα Bell System μετριόνταν σε εκατοντάδες χιλιάδες .

Το 1891, η ιδέα να γίνει προσπάθεια για "πολυκάναλη" τηλεφωνική μετάδοση μπήκε σε εφαρμογή χωρίς όμως ιδιαίτερη επιτυχία. Το 1933 ο διευθυντής ορχήστρας Leopold Stokowski, μελλοντικό επίσημο μέλος της Audio Engineering Society με ένθερμο πάθος για την πολυκάναλη μετάδοση, συνάντησε τον Harvey Fletcher, ερευνητή της Bell Laboratories, ο οποίος ασχολείτο με την τρικάναλη εγκατάσταση - μικροφώνων και αντίστοιχων ηχείων.

Ο Fletcher ήταν ο άνθρωπος που επηρέασε θετικά πολλά πράγματα ειδικά στην ψυχοακουστική (οι καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher/Munson είναι πολύ σημαντικές για τις επιστήμες που ασχολούνται με τον ήχο, σήμερα). Στην κλασική συναυλία, που μεταδόθηκε από την Philadelphia στη Washington, 'ηχολήπτης' ήταν ο Stokowski .Το τρικάναλο remix αμέσως εισήχθει στην κινηματογραφική βιομηχανία και το 1940, τα Disney Studios προβάλουν την Fantasia με ηχητικό σύστημα Fantasound, τρικάναλο με αυτόματο rapping αριστερά-κέντρο μπροστά –δεξιά. Εν τω μεταξύ οι ερευνητές πρόλαβαν να εφεύρουν τα μικρόφωνα λαμπάντα (1918-22), πρόγονους των σύγχρονων εξελιγμένων πυκνωτικών μικροφώνων, και το πολύ ευαίσθητο μικρόφωνο ribbon.¹

¹Zainea Liviu, 'Τα μικρόφωνα και εμείς', article from 'Sound and Vision', Greece .

2. Τι είναι τα μικρόφωνα;

Τα ηχητικά κύματα, προκαλούνται από μια επίδραση ή διαταραχή, η οποία αρχίζει από κάποιο σημείο και μεταβιβάζεται ή διαδίδεται σ' ένα άλλο με ένα προβλέψιμο τρόπο, ο οποίος κυριαρχείται από τις φυσικές ιδιότητες του ελαστικού μέσου, διαμέσου του οποίου μεταδίδεται η διαταραχή.

Καθώς κινείται ένα δονούμενο σώμα προς τα εμπρός από τη θέση στατικής ισορροπίας του, σπρώχνει τον αέρα που βρίσκεται πριν από αυτό, τον πιέζει και δημιουργεί ένα πύκνωμα των μορίων του. Την ίδια στιγμή συμβαίνει αμέσως μια αραιοποίηση των μορίων του αέρα πίσω από το δονούμενο σώμα, διότι ο αέρας τρέχει να καταλάβει και να πληρώσει τον άδειο χώρο, που σχηματίστηκε. Έτσι, εμφανίζεται μεταβολή της πίεσης του αέρα εκατέρωθεν της βαρομετρικής του τιμής, δηλαδή εκατέρωθεν της ατμοσφαιρικής πίεσης. Με αυτόν τον τρόπο η συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα όλο και μεταφέρεται σε πιο απόμακρα τμήματά του κι ο αέρας τίθεται σε κίνηση, που μας είναι γνωστή ως ηχητικό κύμα.

Το ηχητικό κύμα μεταφέρει κάποια πληροφορία, που πιθανά μας ενδιαφέρει να την αποκτήσουμε, να την ακούσουμε. Επειδή ένα ηχητικό κύμα, δηλαδή μια αλληλουχία πυκνωμάτων και αραιωμάτων του ατμοσφαιρικού αέρα, δεν μπορούμε να το ενισχύσουμε ή να το εξασθενήσουμε ή να το φιλτράρουμε κ.λ.π. ώστε να αντλήσουμε την μεταφερόμενη πληροφορία του, φροντίζουμε να το μετατρέψουμε μέσω μιας κατάλληλης διάταξης σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο να μεταφέρει ακριβώς την ίδια πληροφορία. Το ηλεκτρικό σήμα μπορούμε 'άνετα' να το ενισχύσουμε, να το εξασθενίσουμε, να το διαμορφώσουμε, να το φιλτράρουμε ώστε να αποκτήσουμε την πληροφορία που μεταφέρει. Η διάταξη αυτή που μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε ηλεκτρικό σήμα ονομάζεται μικρόφωνο και, εάν πράγματι η πληροφορία του ηλεκτρικού σήματος είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν του ηχητικού σήματος, τότε χαρακτηρίζεται το μικρόφωνο αξιόπιστο.²

Επομένως, τα μικρόφωνα είναι ηλεκτρομηχανικές (ηλεκτροακουστικές) συσκευές, οι οποίες μετατρέπουν τις λαμβανόμενες μεταβολές της ακουστικής πίεσης (ηχητική ενέργεια), σε ηλεκτρικά σήματα. Το πρώτο επιτυχημένο μικρόφωνο χρησιμοποιήθηκε το 1876, στην τηλεφωνική συσκευή του Α. G. Bell, και ήταν τύπου άνθρακα.

Σήμερα υπάρχουν αρκετοί τύποι μικροφώνων, ο καθένας με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, τα οποία τον βελτιστοποιούν για συγκεκριμένη χρήση. Τα μικρόφωνα διακρίνονται σε μονοφωνικά(mono) και στερεοφωνικά(stereo).

² Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες : Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης – Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών , Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε , Αθήνα 2003 , από το 'Πρόλογος σε τρεις πράξεις' .

Μερικά διαθέτουν ειδικό αλεξιανεμικό/αντιανεμικό κάλυμμα από πυκνό αφρολέξ, για την μείωση της επίδρασης του θορύβου του ανέμου κατά τις ηχοληψίες εξωτερικών χώρων, αλλά και της επίδρασης της αναπνοής. Άλλα μικρόφωνα διαθέτουν ενσωματωμένα φίλτρα αποφυγής των ανεπιθύμητων κακόηχων συμφώνων ('π', 'τ', κ.τ.λ.) και των συριστικών 'σ', 'ξ', και 'ζ', (sibilants) της ανθρώπινης φωνής, τα οποία υποβιβάζουν την ηχητική ποιότητα του σήματος.

Ένα καλό μικρόφωνο, πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική απόσβεση (damping) των μηχανικών ταλαντώσεων του διαφράγματος, έτσι ώστε να παρακολουθεί με ακρίβεια και πιστότητα τις ηχητικές δονήσεις. Επίσης, εκτός ορισμένων περιπτώσεων, θα πρέπει να διαθέτει επίπεδη/ομαλή απόκριση μέσα σε ολόκληρο το ακουστικό φάσμα συχνοτήτων.³

3α. Κατηγορίες μικροφώνων

Σύμφωνα με τον τρόπο ταλάντωσης της μεμβράνης τους, τα μικρόφωνα χωρίζονται ως εξής:

- **Μικρόφωνα σταθερού πλάτους απομάκρυνσης των μηχανικών ταλαντώσεων:** Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρική τάση στην έξοδο των μικροφώνων αυτών, είναι ανάλογη με το πλάτος απομάκρυνσης των μηχανικών ταλαντώσεων του κινούμενου στοιχείου (μεμβράνης/διαφράγματος) που διαθέτουν. Τέτοια μικρόφωνα είναι τα άνθρακα, τα πιεζοηλεκτρικά, και τα πυκνωτικά.
- **Μικρόφωνα σταθερού πλάτους ταχύτητας των μηχανικών ταλαντώσεων:** Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρική τάση στην έξοδο των μικροφώνων αυτών είναι ανάλογη με το πλάτος της ταχύτητας των μηχανικών ταλαντώσεων του κινούμενου στοιχείου (διαφράγματος/μεμβράνης) που διαθέτουν. Τέτοιου τύπου συμπεριφορά παρουσιάζουν όλα τα μαγνητικά/ηλεκτροδυναμικά μικρόφωνα (κινητού πηνίου, κινητού μαγνήτη, κινητού σιδήρου) και τα τύπου ταινίας (ribbon).

Τέλος, ανάλογα με τη μέθοδο διέγερσης του διαφράγματος των κατηγοριοποιούνται σε :

- **Μικρόφωνα τύπου ακουστικής πίεσης (pressure operated):** Τα μικρόφωνα αυτά διαθέτουν ένα αεροστεγή θάλαμο/κοιλότητα, ο οποίος περιέχει παγιδευμένο αέρα, ακριβώς πίσω από το διάφραγμα. Η ακουστική πίεση του ηχητικού κύματος, ασκείται μόνο πάω στην εξωτερική πλευρά του διαφράγματος, που εμφανίζει σταθερή ενδοτικότητα (σταθερή πίεση κοιλότητας ή ενδοτικότητα κρυστάλλου), οπότε και η ασκούμενη δύναμη είναι ευθέως ανάλογη της ηχητικής πίεσης. Η παραγόμενη ηλεκτρική τάση με ανοικτοκυκλωμένα άκρα, είναι ευθέως ανάλογη της ασκούμενης δύναμης και κατ' επέκταση ευθέως ανάλογη της ασκούμενης ηχητικής πίεσης. Στα μικρόφωνα πίεσης η συχνότητα ιδιοσυντονισμού βρίσκεται υψηλά, ελεγχόμενη από τη σχετικά μικρή ενδοτικότητα (υψηλή

³ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σ.177.

σκληρότητα) του εγκλωβισμένου στην κοιλότητα αέρα ή του κρυσταλλικού υλικού. Χαρακτηριστικό των μικροφώνων αυτών είναι ότι παρουσιάζουν κάποια μικρή έμφαση στην απόκριση των υψηλότερων ακουστικών συχνοτήτων. Μικρόφωνα τύπου πίεσης, συνήθως είναι τα πυκνωτικά και τα πιεζοηλεκτρικά. Η πολική απόκριση αυτών των μικροφώνων μέσα στο ακουστικό φάσμα είναι σχεδόν ισοκατευθυντική.

- **Μικρόφωνα ταχύτητας(velocity)ή διαφοράς πίεσης (pressure gradient)**: Σε αυτήν την περίπτωση, το διάφραγμα του μικροφώνου είναι ελεύθερο να δέχεται την επίδραση της ηχητικής πίεσης και από τις δύο πλευρές. Το αποτέλεσμα είναι ότι η στιγμιαία εφαρμοζόμενη στο διάφραγμα συνισταμένη κάθετη δύναμη, είναι ανάλογη της στιγμιαίας διαφοράς των δύο αυτών ηχητικών πιέσεων, και η παραγόμενη ηλεκτρική τάση με ανοικτοκυκλωμένα άκρα, είναι ανάλογη της ταχύτητας ταλάντωσης του διαφράγματος, καθώς επίσης και ανάλογη της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων του αέρα. Στα μικρόφωνα διαφοράς πίεσης η συχνότητα ιδιοσυντονισμού βρίσκεται χαμηλά, ελεγχόμενη από τη σχετικά μεγάλη παλλόμενη μάζα του διαφράγματος του μικροφώνου σε σχέση με την σκληρότητά του. Μικρόφωνα τύπου διαφοράς πίεσης είναι για παράδειγμα τα μικρόφωνα ταινίας (ribbon). Τα μικρόφωνα αυτού του τύπου παρουσιάζουν κατευθυντική απόκριση ,π.χ. δίλοβα, καρδιοειδή, κτλ.

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας για τη μετατροπή του ήχου σε ηλεκτρική ενέργεια τα **μικρόφωνα** διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Δυναμικά (ή ηλεκτροδυναμικά, μαγνητικά)** : Είναι τα πιο διαδεδομένα για οικιακή και επαγγελματική χρήση (συστήματα PA-Public Address, ηχογράφιση φωνής, μουσικών οργάνων σε συναυλίες κ.α.) μικρόφωνα. Διαθέτουν σχετικά μεγάλη ευαισθησία (χαμηλότερη των πυκνωτικών), και παράγουν χαμηλή τάση εξόδου (<50Me). Παρουσιάζουν επίσης σχετικά χαμηλή σύνθετη αντίσταση εξόδου, περί τα 30-600 Ω. Αποτελούνται από ένα κινούμενο πηνίο, το οποίο βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Τα ηχητικά κύματα προκαλούν ταλάντωση διαφράγματος, το οποίο κινεί το πηνίο, που με τη σειρά του δημιουργεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του (οι καλές υλοποιήσεις ηλεκτροδυναμικών μικροφώνων χρησιμοποιούν μαγνήτη νεοδυμίου). Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ηλεκτρικής τάσης στα άκρα του πηνίου, όπως ακριβώς συμβαίνει και στις μαγνητικές κεφαλές των πικάπ. Τα μικρόφωνα αυτά διαθέτουν μεγάλη αξιοπιστία και αντοχή στο χρόνο και στις καταπονήσεις. Δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα ,δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία, έχουν σχετικά αθόρυβη λειτουργία και παράγουν "καλό" και "καθαρό" σήμα. Το διάφραγμά τους, λόγω της σχετικά μεγάλης μάζας του, συνήθως παρουσιάζει ιδιοσυντονισμούς στη μεσαία περιοχή συχνοτήτων (resonance peak) μεταξύ 2 και 5 kHz. Τα ελαφρύτερα διαφράγματα των ηλεκτροδυναμικών μικροφώνων κατασκευάζονται από mylar. Δυστυχώς τα δυναμικά μικρόφωνα χρειάζονται συνήθως αρκετή προενίσχυση και σε σχέση με τα πυκνωτικά μικρόφωνα έχουν ασθενές σήμα. Τα δυναμικά μικρόφωνα, τέλος, διαιρούνται σε μικρόφωνα κινητού πηνίου-moving coil, τα οποία μοιάζουν

στη λειτουργία τους με το αντίστροφο των ηλεκτροδυναμικών μεγαφώνων και ορισμένα διαθέτουν και διπλό μορφοτροπέα, προκειμένου να χειρίζονται ικανοποιητικά ολόκληρο το ακουστικό φάσμα, και σε μικρόφωνα κινητού σιδήρου-moving iron, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο στις μετρήσεις κραδασμών μηχανημάτων και συσκευών και όχι σε εφαρμογές Hi-Fi, καθώς παρουσιάζουν έντονους ιδιοσυντονισμούς του μεταλλικού διαφράγματος και παραμορφώσεις λόγω ανομοιόμορφης μεταβολής της μαγνητικής ροής και 'φτωχή' απόκριση συχνοτήτων.^{4 5} Βασικά τέτοια μικρόφωνα είναι omni-directional, που σημαίνει ότι θα πρέπει να έχουν ίδια ευαισθησία για ηχητικά κύματα που προέρχονται από οποιαδήποτε κατεύθυνση, περίπου σαν μια σφαίρα. Τα δυναμικά μικρόφωνα μπορούν να κατασκευαστούν και να δείχνουν προτεραιότητα, δηλαδή προς μέγιστη ευαισθησία προς μια διεύθυνση και τότε ονομάζονται cardioid ή hypercardioid, όπως μια καρδιά δηλαδή αλλά, και πάλι σε τρισδιάστατη μορφή με πολικό διάγραμμα σαν ένα μύλο. Όταν η πηγή βρίσκεται μπροστά από το μικρόφωνο, τα ηχητικά κύματα χτυπούν την μεμβράνη και φτάνουν και στα ports (ανοίγματα στο σώμα του μικροφώνου) με διπλή μετατόπιση της φάσης: μια φορά από την καθυστέρηση των κυμάτων, εξωτερικά από το διάφραγμα στα ports και δεύτερη φορά μέσα στα ports. Όταν ο ήχος χτυπά το πίσω μέρος της μεμβράνης είναι εν μέρει σε φάση με το μπροστινό κύμα, ενισχύοντας ή ακυρώνοντας την με αποτέλεσμα το γνωστό cardioid πολικό διάγραμμα με μέγιστη απόκριση αξονικά, δηλαδή στα 180 μοίρες.⁶



Από τα πλέον διαδεδομένα δυναμικά μικρόφωνα.



520dx. Δυναμικό μικρόφωνο ισοκατευθυντικό.



sm631. Δυναμικό ισοκατευθυντικό μικρόφωνο.



D88s. Δυναμικό υπερκαρδιοειδές μικρόφωνο.



D112. Δυναμικό καρδιοειδές μικρόφωνο της AKG.

⁴ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σσ.184-185.

⁵ Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες: Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης – Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε, Αθήνα 2003, σελ.3-4.

⁶ Zainea Liviu, 'Τα μικρόφωνα και εμείς', article from 'Sound and Vision', Greece.

- **Πυκνωτικά (ή ηλεκτροστατικά, condenser/electrostatic/capacitor transducer)**: Πρόκειται για ακριβιά μικρόφωνα, πολύ καλής ηχητικής ποιότητας, σχετικά χαμηλού θορύβου, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε επαγγελματικές εφαρμογές, studios ηχογραφήσεων, τηλεοπτικούς και ραδιοφωνικούς σταθμούς κ.α. Μικρόφωνα τύπου πέτου/γραβάτας, electret tieclip, on mics, κ.α. Για τη λειτουργία τους απαιτείται τροφοδοσία από κάποια εσωτερική ή εξωτερική πηγή συνεχούς τάσης, π.χ. μπαταρία (9-52Vdc, σπάνια περισσότερο), η οποία παρέχει μόνιμο φορτίο πόλωσης (dc bias) στις παράλληλες πλάκες του πυκνωτή που σχηματίζουν τα μικρόφωνα αυτά.⁷ Το πυκνωτικό μικρόφωνο ξεφεύγει από την ηλεκτρομαγνητική αρχή των δυναμικών μικροφώνων. Η κάψα ή η κεφαλή, αποτελείται από δυο λεπτές πλάκες που σχηματίζουν τους πόλους ενός πυκνωτή που έχει την ικανότητα να συσσωρεύει ηλεκτρικά φορτία. Το φορτίο Q (σε coulombs) ενός πυκνωτή σχετίζεται με την χωρητικότητα C (σε farads) και την εφαρμοσμένη τάση V κατά τον τύπο $Q=CV$. Η χωρητικότητα εξαρτάται από κάποιες σταθερές: η σύνθεση και η απόσταση μεταξύ των δυο πλακών, το διηλεκτρικό στοιχείο - συνήθως ο αέρας, και όλα μαζί ευαίσθητα στην ηχητική ακουστική πίεση. Οι πλάκες είναι συνδεδεμένες σε συνεχές ρεύμα που παρέχει μια τάση πόλωσης. Όταν τα ηλεκτρόνια έλκονται από την πλάκα τη συνδεδεμένη στο θετικό πόλο, εάν η ηχητική πίεση πιέζει την μεμβράνη προς τα μέσα, η θέση ισορροπίας του πυκνωτή, αλλάζει ξαφνικά ανάλογα με το ωστικό / ηχητικό κύμα. Στην μέγιστη κάμψη της μεμβράνης η χωρητικότητα μικραίνει ενώ όταν η μεμβράνη γυρίζει προς την θέση ισορροπίας προς την άλλη κατεύθυνση, η χωρητικότητα μεγαλώνει. Σε αυτές τις συνθήκες, έχοντας σταθερό το ηλεκτρικό φορτίο, αλλάζει συνεχώς η τάση, που αποτελεί το σήμα. Ο συνδυασμός μεγάλης αντίστασης και χωρητικότητας (που είναι σειρά και με την πηγή dc που παράγει την πόλωση) σε φόρτωση / εκφόρτωση, έχουν μια σταθερή διάρκεια, μεγαλύτερη του κύκλου, σχεδόν οποιασδήποτε συχνότητας και δεν επηρεάζονται από αυτή. Όταν η τάση μέσα στον πυκνωτή αλλάζει, γίνεται ίση με εκείνη της αντίστασης που είναι όμως αντίστροφη. Αυτή η τάση αποτελεί το σήμα της κάψας. Λόγω της υψηλής τιμής αντίστασης, (20 MΩ) και του χαμηλού σήματος εξόδου, είναι αναγκαία κάποια ενίσχυση από προενισχυτή. Για αποφυγήν βόμβου, θορύβων και την πτώση του σήματος, ο προενισχυτής, πάντα μοντάρεται μέσα στο σώμα του μικρόφωνου. Τα πυκνωτικά μικρόφωνα είναι ευαίσθητα στην αλλαγή της ακουστικής πίεσης, πράγμα που τα καθιστά omnidirectional. Προσθέτοντας σε μια διάτρητη σταθερή πλάκα, δυο μεμβράνες μπρος και πίσω από αυτήν, έχουμε δυο πυκνωτές. Με την πόλωση των δυο μεμβρανών με διαφορετική δυαδικότητα σε σχέση με την σταθερή πλάκα, πετυχαίνουμε ένα omnidirectional διάγραμμα. Εάν αλλάξουμε την τάση πόλωσης μιας μεμβράνης και η άλλη μένει σταθερή, σχηματίζεται ένα cardioid. Με τις δυο μεμβράνες με διαφορετικές πολώσεις και τη σταθερή πλάκα στην γείωση, αποκτούμε ένα figure-of-eight πολικό διάγραμμα. Μια

⁷ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σ.179.

παραλλαγή του πυκνωτικού μικρόφωνου είναι το electret. Λειτουργεί παρόμοια με το πυκνωτικό με την διαφορά ότι η πόλωση είναι μόνιμα ηλεκτροστατικά φορτωμένη στις πλάκες του πυκνωτή. Και πάλι, χρειάζεται προενίσχυση που κατεβάζει την αντίσταση εξόδου και αυξάνει το σήμα. Συνήθως θα βρούμε μια μπαταρία ενσωματωμένη. Μια καινούρια μορφή μικρόφωνων electret είναι τα λεγόμενα PZM (Pressure Zone Microphone). Το διάφραγμα ενθηκεύεται πάνω σε μια σχετικά μεγάλη μεταλλική πλάκα. Μέσω ενός ανοίγματος προς την πλάκα, αθροίζει την κυματική πίεση σε ένα σημείο της πλάκας όπου τα απευθείας και τα αντανακλούμενα κύματα είναι σε φάση, προσθέτοντας περίπου 6 dB στην ευαισθησία του μικροφώνου. Επειδή το PZM μπορεί να τοποθετείται σε μια επιφάνεια, δεν παρουσιάζεται το πρόβλημα άλλων μικροφώνων που δέχονται την απευθείας ακουστική ενέργεια, αλλά και τα επιβραδυμένα, λόγω γεωμετρίας του περιβάλλοντος που παράγουν phase cancellation και οδηγούν σε μη φασματική απόκριση, σχετικά γραμμική.⁸ Όλοι οι τύποι πυκνωτικών μικροφώνων έχουν δυνατό και καθαρό σήμα, σχετικά αθόρυβη λειτουργία(οι μέτριες συσκευές παρουσιάζουν φύσημα) και είναι αρκετά ευαίσθητα ώστε να έχουν καλή πιστότητα(κάποιες φορές επισημαίνουν και ανεπιθύμητους θορύβους)⁹. Ένα μειονέκτημα τους είναι ότι επηρεάζονται δυσμενώς από τις μεταβολές της υγρασίας και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, ορισμένα ακριβά μοντέλα διαθέτουν ειδικό σύστημα το οποίο διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του διαφράγματος(constant environment), εξασφαλίζοντας έτσι την καλύτερη λειτουργία του μικροφώνου.¹⁰



Πυκνωτικό supercardioid μικρόφωνο.



Πυκνωτικό καρδιοειδές μικρόφωνο.



C5900. Πυκνωτικό υπερκαρδιοειδές μικρόφωνο της AKG.



Πυκνωτικό ισοκατευθυντικό μικρόφωνο.

- **Ταινίας ή ribbon:** Τα μικρόφωνα αυτά χρησιμοποιούν μια λεπτή μεταλλική ταινία που φέρει πτυχώσεις, μονταρισμένη μεταξύ των πόλων ενός μαγνήτη, η οποία δημιουργεί διαφορά δυναμικού. Η διαφορά της πίεσης μπροστά και πίσω από την μεμβράνη, ανάλογη με την ταχύτητα των μορίων του αέρα και πάλι επάγει ένα ρεύμα στο πηνίο. Επειδή η ταινία βρίσκεται στο ηχητικό πεδίο με τις δυο πλευρές, ο ήχος προς την πίσω πλευρά είναι με 180 μοίρες εκτός φάσης με το μπροστινό. Ήχοι

⁸ Zainea Liviu, 'Τα μικρόφωνα και εμείς', article from 'Sound and Vision', Greece.

⁹ Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες: Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης - Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε, Αθήνα 2003, σ. 6.

¹⁰ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σ.182.



SF-1. Μικρόφωνο ribbon της Royer (κατευθυντικότητα: figure of eight).



R-121. Μικρόφωνο ribbon της Royer (κατευθυντικότητα: symmetrical figure of eight).



SF12. Μικρόφωνο ribbon της Royer (Ηλεκτροδυναμικό stereo figure of eight).

αξονικοί προς την ταινία παράγουν ίσης πίεσης και αντίστροφα σήματα σε κάθε πλευρά και αλληλοακυρώνονται. Ως αποτέλεσμα, χωρίς επέμβαση το ribbon μικρόφωνο έχει μια figure of eight pattern (on left). Εάν το πίσω μέρος της ταινίας, που δέχεται μέρος ηχητικής ενέργειας καλύπτεται, κατασκευάζονται (όπως στο δυναμικό μικρόφωνο) λαβύρινθοι, που χρησιμοποιούνται ως πολλαπλές ακουστικές αντιστάσεις, για να μεταβάλλεται η φάση. Τότε, μπορεί να δημιουργούνται πέραν από figure of eight και omnidirectional ή cardioid, πολικά διαγράμματα.¹¹ Τα μικρόφωνα ταινίας λόγω της χαμηλής μάζας της ταινίας παρουσιάζουν βελτιωμένη απόκριση στις υψηλές συχνότητες και συντονισμούς στη χαμηλή και μεσαία περιοχή συχνοτήτων. Είναι πολύ ευαίσθητα στις μεταβολές της ηχητικής πίεσης, έχουν αθόρυβη λειτουργία και πολύ καλό ήχο. Όμως, δεν χρησιμοποιούνται πολύ συχνά ιδιαίτερα καθώς χρειάζεται να συνδέονται με πολύ καλής ποιότητας προενισχυτές (χρειάζονται υψηλή προενίσχυση) και έχουν αδύναμο σήμα. Επίσης παρουσιάζουν ευαισθησία στους μηχανικούς κραδασμούς, στα χτυπήματα και στα "φυσήματα".¹²



R-122. Μικρόφωνο ribbon της Royer (κατευθυντικότητα: figure of eight).

- **Πιεζοηλεκτρικά(κεραμικά/ceramic και κρυσταλλικά/crystal):** Διαθέτουν σχετικά μικρό φυσικό μέγεθος, πολύ μεγάλη ευαισθησία και παρέχουν υψηλή τάση εξόδου. Εμφανίζουν πολύ υψηλή αντίσταση εξόδου, περίπου 100KΩ-1MΩ. Τυπική τιμή χωρητικότητας των μικροφώνων αυτών είναι 30nF για τα διαφραγματικού τύπου (diaphragm actuated type) και 0.5-15nF για τα απευθείας διεγερόμενα (directly actuated type) μικρόφωνα. Χρησιμοποιούν μια ή και πολλές κατάλληλα κομμένες λεπτές φέτες κρυσταλλικών ή κεραμικών υλικών (Rochelle salt, χαλαζία, tourmaline, τιτανικό βάριο, lead zirconate titanate κ.α). Η κοπή του κρυστάλλου γίνεται έτσι ώστε να παρουσιάζει έντονα το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (ή φαινόμενο ηλεκτροσυστολής). Αυτό σημαίνει ότι όταν ασκηθεί μηχανική πίεση πάνω στον κρύσταλλο κατά μια διεύθυνση, τότε αναπτύσσεται κατά άλλη, μια ηλεκτρική διαφορά δυναμικού (emf), η οποία είναι ανάλογη της ασκούμενης πίεσης ή του τετραγώνου αυτής. Για την λειτουργία τους, τα μικρόφωνα αυτά δεν απαιτούν εξωτερική dc, τάση πόλωσης. Παρουσιάζουν μειωμένη απόκριση υψηλών συχνοτήτων, για χρήση σε εφαρμογές υψηλής πιστότητας. Αποτελούν από τα πλέον φθηνού κόστους μικρόφωνα. Χρησιμοποιούνται και σαν ακουστικά βαρήκων ή σε μετρήσεις κραδασμών/θορύβων συσκευών και μηχανημάτων, ενώ αποφεύγεται η χρήση τους σε εφαρμογές Hi-Fi. Τα κρυσταλλικά μικρόφωνα είναι πιο ευαίσθητα στις μεταβολές της υγρασίας και θερμοκρασίας από τα κεραμικά.¹³
- **Άνθρακα(carbon):** Τα μικρόφωνα άνθρακα είναι από τους παλαιότερους τύπους μικροφώνων. Στα μικρόφωνα αυτά, μικροσκοπικοί κόκκοι άνθρακα ευρίσκονται μεταξύ δύο πλακών, μίας σταθερής και μίας κινητής. Οι

¹¹ Zainea Liviu, 'Τα μικρόφωνα και εμείς', article from 'Sound and Vision', Greece.

¹² Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες: Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης - Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής M/E, Αθήνα 2003, σ. 7.

¹³ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σσ.182-183.

δονήσεις της κινητής πλάκας, προκαλούν σχεδόν γραμμικές μεταβολές στην ωμική αντίσταση που εμφανίζεται μεταξύ των πλακών. Για την λειτουργία των μικροφώνων άνθρακα απαιτείται η εφαρμογή κάποιας εξωτερικής τάσης πόλωσης. Τα μικρόφωνα αυτά είναι σχετικά μέτριας ευαισθησίας η οποία βελτιώνεται με την αύξηση της τιμής του ρεύματος/τάσης πόλωσης, με ταυτόχρονα αναπόφευκτη αύξηση της στάθμης θορύβου και μείωση του εύρους απόκρισης συχνοτήτων. Η ευαισθησία βελτιώνεται επίσης με τη χρήση μεγαλύτερης επιφάνειας και μικρότερης σκληρότητας διαφράγματος, αλλά και με τη μείωση της ωμικής αντίστασης του μικροφώνου. Τα μικρόφωνα άνθρακα εμφανίζουν σχετικά υψηλή τάση εξόδου, χαμηλή αντίσταση εξόδου, φτωχή απόκριση συχνοτήτων και υψηλό θόρυβο οφειλόμενο στις μεταξύ των κόκκων τυχαίες τριβές. Πολλές φορές τα μικρόφωνα άνθρακα χρησιμοποιούν κάποιο μετασχηματιστή προσαρμογής αντίστασης (step-up transformer). Ένα άλλο μειονέκτημα αποτελεί η ανάγκη χρήσης εξωτερικής πηγής τάσης. Αποτελούν χαμηλού κόστους μικρόφωνα, μεγάλης αντοχής στην κακομεταχείριση, πλην της υψηλής υγρασίας. Η εφαρμογή τους περιορίζεται μόνο σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα στα οποία δεν ενδιαφέρει η καλή απόκριση συχνοτήτων, π.χ. στα τηλέφωνα ή σε διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές.



Shure104c.
Μικρόφωνο
άνθρακα
omnidirectional.

Υπάρχουν ακόμη και διάφοροι άλλοι τύποι μικροφώνων, ειδικών εφαρμογών και χρήσεων:

- **Μικρόφωνα περιοχής ζώνης πίεσης (pzm – pressure zone microphone):** Τα μικρόφωνα pzm (boundary mics) παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή αντίσταση εξόδου. Χρησιμοποιούν ένα μικρό ισοκατευθυντικό, συνήθως πυκνωτικό μικρόφωνο “ηλεκτρίτη”. Τα μικρόφωνα αυτά διαθέτουν ένα αεροστεγή θάλαμο/κάψα, ο οποίος περιέχει παγιδευμένο αέρα, ακριβώς πίσω απ’ το διάφραγμα (είναι μικρόφωνα πίεσης). Ολόκληρο το μικρόφωνο, είναι τοποθετημένο πάνω σε μία μεταλλική πλάκα/ανακλαστική επιφάνεια (pressure zone). Το πολικό τους διάγραμμα στο χώρο είναι ημισφαιρικό. Το παρεχόμενο ηλεκτρικό σήμα από ένα μικρόφωνο pzm, είναι καθαρό/απαλλαγμένο από οποιαδήποτε παράσιτα ή ακουστικές παρεμβολές. Το αντίτιμο είναι ότι παρουσιάζουν ένα κάπως αυξημένο επίπεδο θορύβου, σε σχέση με άλλες κατηγορίες μικροφώνων. Τα μικρόφωνα αυτά χρησιμοποιούνται τόσο για την ηχογράφιση ολόκληρης ορχήστρας ή όπερας, όσο και μεμονωμένων μουσικών οργάνων. Επίσης χρησιμοποιούνται για την ηχογράφιση επιτραπέζιων συζητήσεων και συσκέψεων.



Pressure Zone Microphones της crown.

- Μικρόφωνα γραμμής (line/shot gun/rifle/boom microphones):** Είναι υπερκατευθυντικά μικρόφωνα τα οποία χρησιμοποιούν κάποιο μικρόφωνο κινητού πηνίου, πυκνωτικό ή "ηλεκτρίτη". Παρουσιάζουν χαμηλή σχετικά αντίσταση εξόδου και βελτιωμένη ευαισθησία. Αποτελούνται από ένα λεπτό σωλήνα πολύ μικρής διαμέτρου, ανοιχτό στο εμπρόσθιο άκρο, και ο οποίος καταλήγει στο διάφραγμα του μικροφώνου στο άλλο άκρο. Κατά μήκος του σωλήνα αυτού, υπάρχει μια σειρά από σχισμές, στη μία του μόνο πλευρά. Ο ήχος που λαμβάνεται μέσω του σωλήνα, από την κατεύθυνση στην οποία είναι στραμμένο το μικρόφωνο, συμβάλλει ενισχυτικά με τον ήχο ο οποίος λαμβάνεται μέσω των σχισμών, στην περίπτωση μιας ηχητικής πηγής που βρίσκεται ακριβώς εμπρός του μικροφώνου. Αντίθετα η συμβολή αυτή είναι αναιρετική στην περίπτωση των ηχητικών πηγών που βρίσκονται στις πλευρικές κατευθύνσεις του σωλήνα. Η λειτουργία της συμβολής είναι αποτελεσματική για τις συχνότητες στις οποίες το μισό του μήκους κύματός τους είναι μικρότερο από το φυσικό μήκος του σωλήνα. Για τις χαμηλότερες συχνότητες το υπερκαρδιοειδές πολικό διάγραμμα αρχίζει να προσεγγίζει το πολικό διάγραμμα του χρησιμοποιούμενου μικροφώνου, χωρίς την προσθήκη του σωλήνα. Η κατευθυντικότητα των μικροφώνων αυτών αυξάνει ευθέως ανάλογα με το μήκος του σωλήνα (interference tube). Μία άλλη διάταξη μικροφώνων γραμμής περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό (30-40) στενών παράλληλων μεταξύ τους σωλήνων διαφορετικού μήκους οι οποίοι καταλήγουν σε κάποιο μικρόφωνο. Κάθε σωλήνας συντονίζεται και σε διαφορετική περιοχή συχνότητας, ανάλογα με το μήκος του. Και σε αυτήν την περίπτωση η αρχή λειτουργίας είναι η αναίρεση των σημάτων που φτάνουν στο μικρόφωνο από άλλες κατευθύνσεις, εκτός από αυτά που φτάνουν από κατεύθυνση παράλληλη με τους σωλήνες, προκαλώντας συντονισμό των σωλήνων. Τα μικρόφωνα γραμμής χρησιμοποιούνται για την σύλληψη ήχων που προέρχονται από μεγάλη απόσταση π.χ. σε ηχοληψίες τηλεοπτικών στούντιο, κινηματογραφικών ταινιών, εξωτερικών τηλεοπτικών μεταδόσεων, ηχογραφήσεων ζώων ή σε χώρους με ισχυρές αντηχήσεις.



Στερεοφωνικό μικρόφωνο ribbon της Royer.



Υπερκαρδιοειδές πυκνωτικό μικρόφωνο τύπου γραμμής.



Στερεοφωνικό μικρόφωνο της beyerdynamic.

- Στερεοφωνικά μικρόφωνα:** Η στερεοφωνική λήψη γίνεται για να μπορεί ο ακροατής που ακούει από δύο ηχεία, να προσδιορίζει τη θέση της πηγής του ήχου μέσα στον χώρο. Η στερεοφωνική λήψη μπορεί να γίνει με την χρήση δύο ή περισσότερων μικροφώνων ή χρησιμοποιώντας στερεοφωνικό μικρόφωνο. Τα στερεοφωνικά μικρόφωνα αποτελούνται από δύο κάψες, που τοποθετούνται η μια κάτω από την άλλη, με κάθετες τις μεμβράνες τους. Οι κάψες αυτές μπορεί να είναι πυκνωτή, δυναμικές, κ.α. Κυρίως όμως τοποθετούνται κάψες πυκνωτή, διότι για μια στερεοφωνική λήψη απαιτείται και υψηλής ποιότητας κάψα.

- **Μικρόφωνα επαφής:** Χρησιμοποιούν συνήθως μικρόφωνα πιεζοηλεκτρικού ή κεραμικού τύπου (υψηλή αντίσταση εξόδου). Εφαρμόζονται στην λήψη του ήχου διαφόρων μουσικών οργάνων. Τα μικρόφωνα αυτά, βρίσκονται σε "τέλεια" επαφή με την επιφάνεια του χρησιμοποιούμενου οργάνου, και δεν επηρεάζονται από την μετάδοση των ακουστικών κυμάτων μέσω του αέρα.
- **Ασύρματα μικρόφωνα (wireless/radio microphones):** Είναι μικρόφωνα υψηλού σχετικά κόστους, τα οποία χρησιμοποιούνται σε τηλεοπτικούς σταθμούς ή συναυλίες. Χρησιμοποιούν συνήθως μικρόφωνα κινητού πηνίου ή "ηλεκτρίτη". Λόγω πλήρους έλλειψης καλωδίου σύνδεσης, περιλαμβάνουν κάποιο ραδιοπομπό, συνήθως στις μπάντες VHF (150-216 MHz) ή UHF (450-530 MHz & 944-952 MHz) και ισχύος 2-20 mW, ο οποίος μεταδίδει το διαμορφωμένο ακουστικό σήμα. Το ακουστικό σήμα του μικροφώνου διαμορφώνει κατά FM τη ραδιοσυχνότητα κάποιου ταλαντωτή. Τα μικρόφωνα αυτά συνήθως παρουσιάζουν καλή απόδοση μέχρι αποστάσεις 30 μέτρων περίπου. Σπανιότερα εφαρμόζεται IR (infra red) συστήματα μετάδοσης του σήματος, μικρότερης όμως εμβέλειας από τα προηγούμενα.



Δέκτης του ασύρματου μικροφώνου HT400 της AKG.



HT400. Ασύρματο μικρόφωνο της AKG.

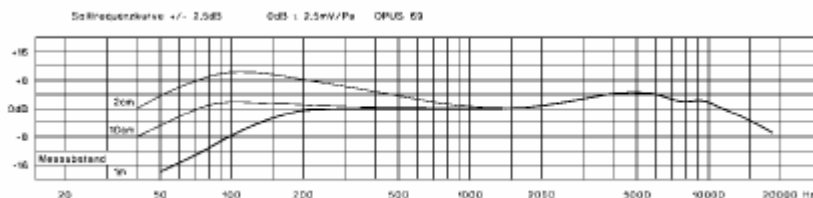
3β. Βασικά χαρακτηριστικά μικροφώνων:

- **Θέση 'on axis':** Η μέγιστη ευαισθησία και απόκριση που έχει ένα μικρόφωνο όταν τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν σε αυτό με γωνία 0° μοιρών, δηλαδή εντελώς κάθετα προς το διάφραγμα του.¹⁴
- **Ευαισθησία (sensitivity):** Από τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός μικροφώνου. Δείχνει την ικανότητά του να αντιλαμβάνεται ακόμα και τα ελάχιστης στάθμης ηχητικά κύματα. Εκφράζει την παρεχόμενη τιμή ηλεκτρικής εξόδου (απόκρισης) του μικροφώνου για κάποια δεδομένη τιμή ηχητικής πίεσης (SPL). Για τα χαμηλής αντίστασης μικρόφωνα η αναφορά ευαισθησίας (0dB) είναι το 1V/μbar ή σε ισοδύναμα το 1dV. Πληροφοριακά, νεώτερη μονάδα μέτρησης της ευαισθησίας είναι το 1Mv/Pa. Για τα υψηλής αντίστασης μικρόφωνα η αναφορά ευαισθησίας είναι το 1 Mv/Pa ή σε ισοδύναμα το 1dBm. Η υψηλότερη ευαισθησία είναι το κατά απόλυτη τιμή μικρότερο νούμερο. Ορισμένα μικρόφωνα έχουν δυνατότητα ρύθμισης της κατευθυντικότητας και κατ' επέκταση της ευαισθησίας τους. Στην υπερκατευθυντική λειτουργία, η τιμή της

¹⁴ Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες: Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης – Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών, Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε, Αθήνα 2003, σ.13.

ευαισθησίας αυξάνεται (βελτιώνεται), διότι λαμβάνονται ενισχυμένοι οι ήχοι από την συγκεκριμένη κατεύθυνση που ενδιαφέρει, ενώ απορρίπτονται οι ήχοι από όλες τις άλλες κατευθύνσεις. Τα υψηλής ευαισθησίας μικρόφωνα αποδίδουν καλύτερα (υψηλότερο SNR), όταν τοποθετούνται μακριά από την ηχητική πηγή. Το αντίστροφο ισχύει για τα χαμηλής ευαισθησίας μικρόφωνα. Τυπικές τιμές ευαισθησίας διαφόρων τύπων μικροφώνων : ♦ -48 έως -73 Dbv ή 40 έως 2.2 Mv/Pa (-26 έως -51 dBm) για τα πυκνωτικά και electret μικρόφωνα. ♦ -70 έως -85Dbv ή 3.16 έως 0.56 Mv/Pa (-48 έως -63 dBm) για τα δυναμικά και τα τύπου ribbon μικρόφωνα. ♦ -72 έως -82Dbv (-50 έως -60 dBm) για τα μικρόφωνα άνθρακα. ♦ -40 έως -50 Dbv (-18 έως -28 dBm) για τα κρυσταλλικά και κεραμικά μικρόφωνα. Γενικά ένα 'άτυπο' όριο μεταξύ υψηλής και χαμηλής ευαισθησίας είναι τα -54 έως -55 dBm.

- Απόκριση συχνοτήτων (frequency response): Βασικό χαρακτηριστικό των μικροφώνων. Εκφράζει την ευαισθησία τους μέσα σ' ολόκληρο το ακουστικό φάσμα και προσδιορίζει το πόσο επίπεδο, 'flat' είναι κάποιο μικρόφωνο, δηλαδή εάν και πόσο επηρεάζει ένα ηχητικό σήμα ή όχι.¹⁵ Η απόκριση ακουστικών συχνοτήτων συνήθως κυμαίνεται από 8-150 έως 10000-20000 Hz, πάνω στον ακουστικό άξονα για όλα τα είδη μικροφώνων. Την καλύτερη απόκριση συχνοτήτων (πιο ευρεία και επίπεδη) παρουσιάζουν τα πυκνωτικά μικρόφωνα. Η καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων είναι μια γραφική παράσταση η οποία συνοδεύει συνήθως κάθε ποιοτικό μικρόφωνο και πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ομαλή και επίπεδη. Ορισμένοι τύποι επαγγελματικής χρήσης μικροφώνων, παρουσιάζουν εσκεμμένα υψηλότερη ευαισθησία στην απόκριση υψηλών συχνοτήτων, έτσι ώστε να αντισταθμίζουν τις απώλειες τους, όταν τοποθετούνται μακριά από την ηχητική πηγή.¹⁶



Διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων (frequency response) ενός δυναμικού υπερκαρδιοειδούς μικροφώνου.

- Σύνθετη αντίσταση εξόδου (impedance): Η σύνθετη αντίσταση εξόδου (impedance), ενός μικροφώνου, επηρεάζει πάρα πολύ την καλή συνεργασία και προσαρμογή του με τις διάφορες ηλεκτροακουστικές συσκευές και συστήματα (καλώδια διασύνδεσης, ενισχυτές, κ.α). Η σύνθετη αντίσταση αποτελεί μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται με τη συχνότητα του σήματος. Οι αναφερόμενες από τους κατασκευαστές τυπικές τιμές σύνθετης αντίστασης μικροφώνων είναι ονομαστικές, και συνήθως αναφέρονται στην συχνότητα του 1kHz : ♦ Χαμηλής αντίστασης: 30-200Ω, π.χ. ηλεκτροδυναμικά μικρόφωνα (κινητού πηνίου, κ.α) και πυκνωτικά με ενσωματωμένο προσαρμοστικό κύκλωμα ♦ Μεσαίας αντίστασης: 200-2000Ω (τυποποιημένη τιμή τα 600Ω) π.χ

¹⁵ Φάκελος μαθήματος 'Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία', Διδάσκοντες : Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης – Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών , Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε , Αθήνα 2003 , σ .14.

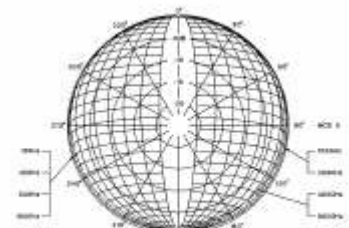
¹⁶ Γεώργιος Σάγος , 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β' , σ.193.

ηλεκτροδυναμικά και πυκνωτικά με ενσωματωμένο προσαρμοστικό κύκλωμα ♦ Υψηλής αντίστασης: 10K-10M, π.χ κρυσταλλικά πυκνωτικά χωρίς κάποιο ενσωματωμένο προσαρμοστικό κύκλωμα. Όταν η αντίσταση εξόδου ενός μικροφώνου δεν ταιριάζει με αυτήν του καλωδίου/προενισχυτή, τότε απαιτείται η χρήση κάποιου κατάλληλου προσαρμοστικού κυκλώματος ή μετασχηματιστή.

- Θόρυβος (noise): Ένα μικρόφωνο οποιουδήποτε τύπου, απαιτείται να παράγει όσο το δυνατόν χαμηλότερο θόρυβο. Ο εσωτερικός θόρυβος των μικροφώνων προέρχεται από τη θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων είτε μέσα στις περιελίξεις των πηνίων τους (μικρόφωνα δυναμικά και ταινίας), είτε στα μεταλλικά διαφράγματα, προενισχυτές και τάση τροφοδοσίας τους (πυκνωτικά). Θόρυβος είναι δυνατό να εισέλθει στο μικρόφωνο ακόμη και από διάφορα εξωτερικά μαγνητικά πεδία ή από εξωτερικούς μηχανικούς κραδασμούς. Γι' αυτό, τα καλά μικρόφωνα διαθέτουν ειδική αντιμαγνητική θωράκιση και ειδική αντικραδασμική κατασκευή για την απόσβεση των ανεπιθύμητων μηχανικών κραδασμών. Η χρήση αντικραδασμικών βάσεων (αράχνες, κ.α), απομονώνει ακόμη περισσότερο το μικρόφωνο από την επίδραση εξωτερικών μηχανικών δονήσεων. Ο παραγόμενος από ένα μικρόφωνο θόρυβος μπορεί να μετρηθεί, όταν αυτό τοποθετηθεί σε κάποιο θάλαμο κενού.
- Υπερφόρτωση ή μέγιστη στάθμη πίεσης (overload ή maximum SPL) και αρμονική παραμόρφωση (Distortion): Υπερφόρτωση ή μέγιστη στάθμη πίεσης (overload ή maximum SPL) είναι εκείνη η ηχητική στάθμη που προκαλεί στην έξοδο του μικροφώνου ένα ηλεκτρικό σήμα συγκεκριμένης τιμής αρμονικής παραμόρφωσης, η οποία δεν υπερβαίνει κάποιο όριο (συνήθως THD <1-3%).
- Κατευθυντικότητα ή πολική απόκριση (directional ή polar response): Το πολικό διάγραμμα ή διάγραμμα κατευθυντικότητας ενός μικροφώνου περιγράφει εποπτικά/γραφικά την κατευθυντική του απόκριση, με βάση την οποία αποκρίνεται μέσα σε κάποιο ηχητικό πεδίο. Με άλλα λόγια περιγράφει την εξάρτηση της ευαισθησίας λήψης του μικροφώνου σε σχέση με τη διεύθυνση του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος, και για κάποιες συγκεκριμένες κάθε φορά ακουστικές συχνότητες. Τα πολικά διαγράμματα στην πλήρη τους μορφή αποτελούν τρισδιάστατες απεικονίσεις. Ο άξονας αναφοράς του πολικού διαγράμματος, είναι συνήθως κάθετος επί του διαφράγματος του μικροφώνου. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της θήκης του μικροφώνου, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το πολικό του διάγραμμα.

Ανάλογα λοιπόν με την μορφή της πολικής τους απόκρισης, τα μικρόφωνα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ισοκατευθυντικά ή παντοκατευθυντικά (omni, omnidirectional): Παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία. Η ευαισθησία και απόκριση των omni μικροφώνων, θεωρητικά, είναι ίδια, ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος. Ένα τέτοιο μικρόφωνο παρουσιάζεται ισοκατευθυντικό για συχνότητες, για τις οποίες το μισό μήκος κύματός τους, είναι μεγαλύτερο από την διάμετρο του διαφράγματός του, λόγω του φαινομένου της περίθλασης. Για μικρότερου μήκους κύματος

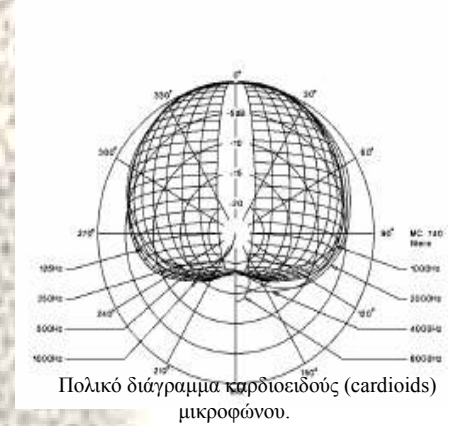


Πολικό διάγραμμα ισοκατευθυντικού (omni directional) μικροφώνου.

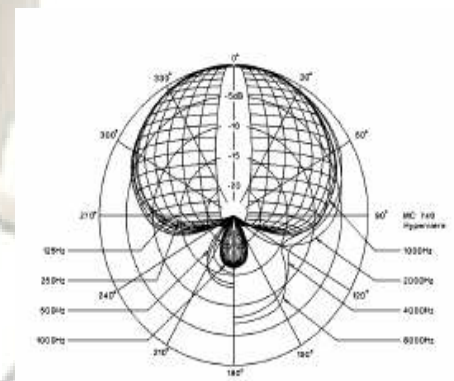
συχνοτήτων, το μικρόφωνο αυτό στην πραγματικότητα είναι κατευθυντικό. Τα ισοκατευθυντικά μικρόφωνα είναι τύπου πίεσης. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα κυρίως σε studio, για να "πιάσουν τον χώρο" του ηχογραφήματος.

- **Μονοκατευθυντικά (unidirectional):** Τα οποία υποδιαιρούνται σε:

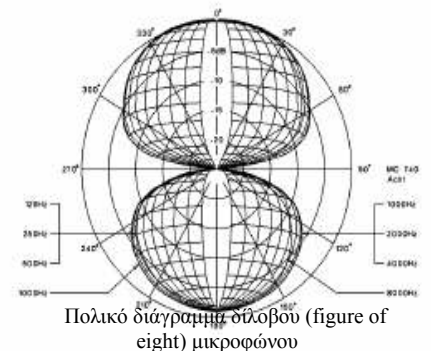
- ♦ **Καρδιοειδή (cardioid):** Αποκόπτουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την οπίσθια ακτινοβολία και έχουν πολική απόκριση σε σχήμα καρδιάς. Τα μικρόφωνα αυτά διαθέτουν μία ανοικτή κοιλότητα πίσω απ το διάφραγμα. Η ακουστική πίεση του ηχητικού σήματος, ασκείται και στις δύο πλευρές του διαφράγματος. Ωστόσο η πρόσβαση στην πίσω πλευρά του διαφράγματος δεν είναι εντελώς ελεύθερη, αλλά εμποδίζεται εσκεμμένα μέσω κάποιας ειδικής διάταξης σχισμών. Τα μικρόφωνα αυτά είναι τύπου ταχύτητας αφού η ταχύτητα ταλαντώσεων του διαφράγματος είναι ανάλογη με την ταχύτητα ταλαντώσεων των μορίων του αέρα και ανάλογη με την διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του διαφράγματος. Παράγουν χαμηλή έξοδο για ήχους προερχόμενους από την οπίσθια πλευρά, λόγω του φαινομένου της περίθλασης γύρω από τα άκρα των σχισμών που υπάρχουν στις πλευρές τους. Ο ήχος που φθάνει στην πίσω πλευρά του διαφράγματος από μια πηγή που είναι τοποθετημένη στην εμπρόσθια πλευρά του μικροφώνου, είναι εσκεμμένα καθυστερημένος, εκτός φάσης και συμβάλλει ενισχυτικά με τον εμπρόσθιο στην κίνηση του διαφράγματος.



- ♦ **Υπερκατευθυντικά ή υπερκαρδιοειδή (hypercardioid, supercardioid, ultracardioid):** Είναι πολύ μικρού εύρους γωνίας λήψης για την απομόνωση των ήχων που ενδιαφέρουν, από τους ανεπιθύμητους παρασιτικούς ήχους-θορύβους του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιούνται σε ζωντανές ηχογραφήσεις (συναυλίες). Διαθέτουν υπερκαρδιοειδές πολικό διάγραμμα, με πολύ μεγαλύτερη έμφαση στην εμπρόσθια ακτινοβολία. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ειδικά για τον σκοπό αυτό διαμορφωμένων σχισμών-ανακλαστήρων. Τα μικρόφωνα αυτά είναι τύπου ταχύτητας. Μειονέκτημα κατά κάποιο τρόπο, αποτελεί η μεγαλύτερη ευαισθησία που παρουσιάζουν τα μικρόφωνα αυτά, στην λήψη των ήχων που προέρχονται από την οπίσθια πλευρά, σε σχέση με τα συνήθους καρδιοειδούς λήψης μικρόφωνα. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα τηλεσκοπικά (zoom microphones), τα οποία διαθέτουν ρυθμιζόμενη κατευθυντικότητα και ευαισθησία. Τα μικρόφωνα αυτά χρησιμοποιούνται σε κινηματογραφικές λήψεις αλλά και σε βιντεοκάμερες.



- **Οκτοειδή, οκτόσχημα, δίλοβα ή δικάτευθυντικά (figure of eight, bidirectional):** Χαρακτηριστικά τέτοια μικρόφωνα είναι και τα ribbon. Τα δικάτευθυντικά



μικρόφωνα παρουσιάζουν δυο αντίθετους λοβούς, ισοδύναμους μεταξύ τους. Η πλευρική απόκρισή τους είναι σχεδόν μηδενική. Τα μικρόφωνα αυτά είναι τύπου ταχύτητας. Εμφανίζουν έντονα το φαινόμενο της εγγύτητας (proximity effect), δηλαδή αυξημένο μπάσο όταν η πηγή βρίσκεται πολύ κοντά και είναι ευαίσθητα στον άνεμο και τις μετακινήσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηχογραφήσεις για να “πιάνουν τον χώρο” μαζί με καθαρό σήμα.¹⁷

- Επίσης υπάρχουν μικρόφωνα τα οποία με την βοήθεια διακόπτη έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν πολική απόκριση.



Mc740. Πυκνωτικό μικρόφωνο πολλαπλής πολικής απόκρισης της beyerdynamic. (omni, wide cardioid, cardioid, hypercardioid, figure of eight).

- Ακουστική ανάδραση (μικροφωνισμοί): Είναι ο ενοχλητικός θόρυβος ο οποίος παρατηρείται, όταν το μικρόφωνο βρίσκεται σε τέτοια φυσική θέση π.χ πολύ κοντά στα ηχεία, ώστε να λαμβάνει και να οδηγεί προς ενίσχυση το σήμα εξόδου του ενισχυτή, διατηρώντας αυτοταλαντώσεις σε κάποια συχνότητα συντονισμού. Η πολική απόκριση ενός μικροφώνου, έχει άμεση σχέση με την ευαισθησία του στην ακουστική ανάδραση. Τα κατευθυντικά μικρόφωνα είναι λιγότερο ευαίσθητα στο φαινόμενο του ‘μικροφωνισμού’, επειδή από την κατασκευή τους λαμβάνουν σε μικρότερο βαθμό, τους εκτός ακουστικού άξονα ήχους του περιβάλλοντος. Το φαινόμενο του μικροφωνισμού των μεγαφωνικών εγκαταστάσεων είναι δυνατό να καταπολεμηθεί με τη χρήση κατάλληλων γραμμών καθυστέρησης (delay lines) και επεξεργασίας του σήματος (ψηφιακών ή αναλογικών), ή

¹⁷Φάκελος μαθήματος ‘Μικρόφωνα-Μεγάφωνα- Ηχεία’, Διδάσκοντες : Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης – Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών , Ιωάννης Γ. Μαλαφής- Καθηγητής Μ/Ε , Αθήνα 2003 , σ .11.

απλούστερα με κατάλληλη χωροταξική διάταξη και μείωση του κέρδους ενίσχυσης.¹⁸

4. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Επιλογικά, θα λέγαμε ότι η χρήση των μικροφώνων σε σχέση με τον τύπο τους, η τοποθέτησή τους, η χρήση ή όχι ηχείων, είναι καθαρά υποκειμενικό θέμα για κάθε ηχολήπτη.

Οι ηχολήπτες ή μηχανικοί ήχου, λαμβάνουν υπόψη τους την ευαισθησία, την κατεύθυνση, την αντίσταση, την πολικότητα, την φάση, την μέγιστη ακουστική ένταση στην είσοδο, τον θερμικό θόρυβο διαφόρων ειδών παραμορφώσεων κ.α. Ορισμένα ή μάλλον όλα αυτά είναι μετρήσιμα αλλά η προσωπική εκτίμηση του ηχολήπτη, τα συμπληρώνει και ανάγει την ηχοληψία σε μορφή έκφρασης, σε τέχνη.

¹⁸ Γεώργιος Σάγος, 'Εφαρμογές Ηλεκτρακουστικής στο Hi-Fi', τόμος Β', σ.200.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Zainea Liviu <<τα μικρόφωνα κι εμείς >> άρθρο από το “sound and vision” Greece.
2. Φάκελος μαθημάτων “Μικρόφωνα- μεγάφωνα- ηχεία” Διδασκόντων Χαράλαμπου Χ. Σπυρίδη- καθηγητή πανεπιστημίου Αθηνών και Ιωάννη Γ. Μαλάφη- καθηγητή Μ/Ε, έκδοσης 2003.
3. “Εφαρμογές Ηλεκτροακουστικής στο Hi- Fi”, Γεωργίου Σάγου, τόμος Β, εκδόσεις “ΙΩΝ”.
4. “Οπτικοακουστικές συσκευές”, Χ. Παπακωνσταντίνου, Δ έκδοση, εκδόσεων “ΙΩΝ”.
5. “Basic microphones”, Paul White, smt editions.
6. Επισκεφθήκαμε τις εξής ιστοσελίδες: www.crownaudio.com, www.shure.com, www.neumann.com, www.royerlabs.com, www.beyerdynamic.com, www.akg.com .

Περιεχόμενα :

σ.σ.

1. Σύντομα ιστορικά στοιχεία	1-2
2. Τι είναι τα μικρόφωνα	3-4
3 α. Κατηγορίες Μικροφώνων	4-12
3 β. Βασικά χαρακτηριστικά Μικροφώνων	12-17
4. Επίλογος	17
Βιβλιογραφία	18

