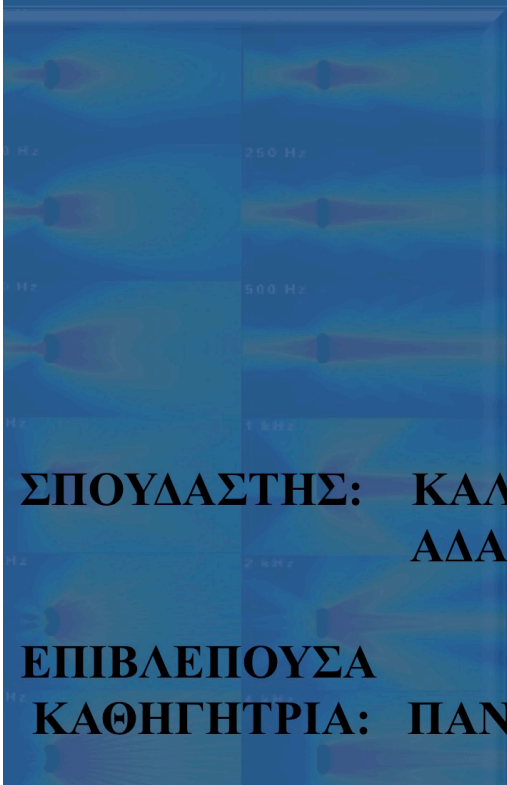


**ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ LINE ARRAY ΚΑΙ
Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΕ ΗΧΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΕΩΝ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΛΙΑΜΠΕΤΣΟΣ-ΤΡΥΦΩΝΑΣ
ΑΔΑΜΑΝΤΙΟΣ-ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΤΕΡΙΝΑ**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2/3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ.....

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΕ ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΚΑΙ ΗΧΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	6
1.2 CALIFORNIA JAM.....	8
1.3 WALL OF SOUND.....	9
1.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ WALL OF SOUND ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΟΤΕ ΕΠΟΧΗΣ.....	9
1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΤΟΥ WALL OF SOUND.....	10
1.6 ΤΕΛΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ LINE SOURCE.....

2.1 HARRY F. OLSON.....	12
2.2 ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ.....	13
2.3 ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ ΣΤΟΝ ΧΩΡΟ.....	13
2.4 ΔΙΠΟΛΙΚΗ ΠΗΓΗ (ΔΙΠΟΛΟ).....	15
2.5 STRAIGHT LINE SOURCE (ΕΥΘΕΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ).....	16
2.6 TAPERED STRAIGHT LINE SOURCE (ΚΩΝΙΚΗ ΕΥΘΕΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ).....	16
2.7 END FIRED LINE SOURCE (ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ).....	17
2.8 CURVED SOURCE ARRAY (ΚΑΜΠΥΛΩΤΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ).....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΙΑ LINE ARRAY.....

3.1 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ LINE ARRAY.....	20
3.2 ΚΑΝΟΝΕΣ LINE ARRAY.....	21
3.3 ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ.....	22
3.3.1 ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ ΧΟΑΝΗΣ.....	22
3.4 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΧΗΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ LINE ARRAY.....

4.1 ΕΝΤΑΣΙΑΚΗ ΚΑΛΥΨΗ.....	28
4.2 DB ΚΑΙ LINE ARRAY.....	28
4.3 ΕΝΤΑΣΙΑΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΚΟΝΤΙΝΟ ΠΕΔΙΟ.....	29
4.4 ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ.....	30
4.5 NEAR ΚΑΙ FAR FIELD ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ.....	32
4.6 LINE ARRAY ΚΑΙ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΕΙΣ LINE ARRAY.....

5.1 FLOWN ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	35
5.2 STACKED ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	36
5.3 HYBRID ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	36
5.4 FLAT ARRAY.....	37
5.5 CURVED ARRAY.....	38
5.6 J ARRAY.....	40
5.7 SPIRAL ARRAY.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΤΑΙΡΙΕΣ LINE ARRAY	44
6.1 L-ACOUSTICS	44
6.1.1 ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ DOSC.....	44
6.1.2 ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ K-LOUVER.....	46
6.1.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	47
6.1.4 ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	50
6.2 MEYER SOUND	51
6.2.1 RIBBON TWEETER.....	51
6.2.2 ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ REM.....	51
6.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	52
6.2.4 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ REM ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΥ.....	52
6.2.5 «ΔΙΠΛΟΣ» ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΣ REM.....	54
6.3 NEXO	55
6.3.1 HYPERBOLIC REFLECTIVE WAVESOURCE (H.R.W.)	56
6.3.2 DIRECTIVITY PHASE DEVICE (D.P.D.)	57
6.3.3 CONFIGURABLE DIRECTIVITY DEVICE (C.D.D.)	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η να μελετήσει τη θεωρία των line array συστημάτων και τον τρόπο, που αυτή η θεωρία εφαρμόζεται στην πράξη κατά τη δημιουργία και χρήση των line array συστημάτων. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή ξεκινώντας από τα πρώτα μεγάφωνα και ηχητικά συστήματα που κατασκευάστηκαν μέχρι και την κατασκευή του πρώτου line array συστήματος. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στον Harry F. Olson και στη θεωρία των line source arrays και στα μοντέλα line sources που είχε μελετήσει ο ίδιος και σχετίζονται με τα line array συστήματα που χρησιμοποιούνται στις ζωντανές οπτικοακουστικές εκδηλώσεις. Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία στην οποία βασίζονται τα line array συστήματα, και αναλύονται οι κανόνες σωστής λειτουργίας και κατασκευής τους. Επιπλέον μελετώνται τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην δημιουργία των line array συστημάτων και οι λύσεις που προτείνουν για να τα αντιμετωπίσουν. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα σημεία που αποκλίνει η θεωρία αυτών των ηχητικών συστημάτων σε σχέση με την αρχική θεωρία (του Olson) και αναπτύσσεται ο συχνοτικός και ο εντασιακός τρόπος που λειτουργούν τα συστήματα αυτά στο κοντινό και στο μακρινό πεδίο. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τρόποι τοποθέτησης των line array συστημάτων όσον αφορά την ανάρτησή τους (stack, flown και hybrid τοποθετήσεις) και όσον αφορά την καμπύλωσή τους (flat, array curved array, J-array και spiral array. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά τριών κατασκευαστριών εταιριών (L-Acoustics, Meyer Sound και Nexco), σχετικά με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν στις υψηλές συχνότητες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν κατά την υλοποίηση ενός line array συστήματος. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή την εργασία είναι πως τα line array συστήματα που κατασκευάζονται, αποκλίνουν από την αρχική θεωρία του Olson. Έπειτα παρατηρείται (για τις υψηλές συχνότητες) μία προσπάθεια επίτευξης εντασιακών και συχνοτικών αποτελεσμάτων που να ακολουθεί την θεωρία του Olson αλλά μέσω άλλων προσεγγίσεων. Αυτό δίνει ελευθερία στις εταιρίες για κατασκευή πρωτοποριακών συσκευών και μηχανισμών ακολουθώντας μία διαφορετική προσέγγιση. Όσον αφορά τις χαμηλές συχνότητες, ισχύουν οι αρχές λειτουργίας των συμβατικών συστημάτων. Αυτό σημαίνει ότι στον τομέα των υψηλών και των χαμηλών συχνοτήτων, υπάρχουν ακόμα προδιαγραφές για εξέλιξη της τεχνολογίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην κ. Παναγοπούλου Κατερίνα, για την επιλογή του θέματος, την επίβλεψη και τις πολύτιμες υποδείξεις κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της εργασίας.

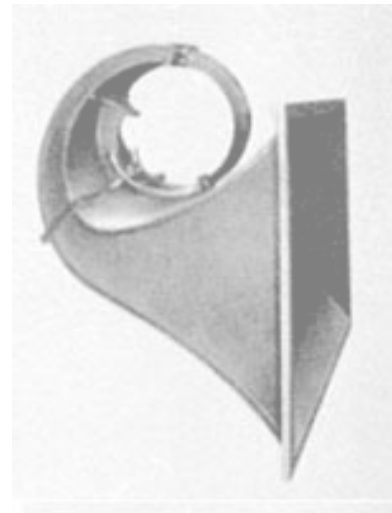
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΠΡΙΝ ΤΑ LINE ARRAY

1.1 Ιστορική αναδρομή σε μεγάφωνα και ηχητικά συστήματα

Το 1874 ο Ernst W. Siemens, ήταν ο πρώτος που περιέγραψε το δυναμικό μεγάφωνο με διάταξη μετατροπής κινητού πηνίου (σχήμα 1.1). Έκτοτε ακολούθησε μια σειρά εφευρέσεων και μίας απ' αυτές ήταν του Thomas Watson το 1882 που κατασκεύασε το μεγάφωνο οπλισμού (armature speaker). Επίσης το 1929 ο J.D. Seabert απ' το Westinghouse ανέπτυξε ένα μεγάφωνο κωνικού τύπου που έκπεμπε τον ήχο ανθρώπινης ομιλίας προς το κοινό, καλύτερα απ' τα μεγάφωνα που είχαν χρησιμοποιηθεί μέχρι τότε. Το 1930 ιδρύεται η ElectroVoice από τους Lou Burroughs και Al Kahn. Το 1933 στα εργαστήρια του Bell κατασκευάστηκε ένα δυναμικό μεγάφωνο τριών δρόμων με χρήση κόρνας για τις υψηλές συχνότητες, ενός κωνικού οδηγού λαιμού 1" και στομιού 40 τετραγωνικών ιντσών για μεσαίες συχνότητες και ενός μεγάλου κινητού πηνίου κωνικού διαφράγματος ενσωματωμένο σε ένα baffle μήκους 3 μέτρων. Αυτό το μεγάφωνο χρησιμοποιούνταν σε κινηματογραφικές ταινίες.

Την ίδια χρονιά στο Constitution Hall της Washington με χρήση 3 μικροφώνων (αριστερά, κέντρο και δεξιά) και συνδέοντας για κάθε μικρόφωνο από ένα ειδικό μεγάφωνο, που αποκρίνονταν σε όλο το συχνοτικό φάσμα που έπαιζε η Ορχήστρα, τοποθετημένα σε αντίστοιχες θέσεις, έδωσαν την αίσθηση «στερεοφωνικής» ακρόασης. Το 1935 οι Douglas Shearer και John Hilliard στο MGM ανέπτυξαν ένα συγκεκριμένο ηχητικό σύστημα για θέατρο ξεκινώντας στο Lowes στο 5000 θέσεων Capitol Theater του Broadway. Το σύστημα ήταν 2 δρόμων με οδηγό για τις υψηλές συχνότητες ένα αλουμινένιο διάφραγμα 3" με διάμετρο λαιμού 1,4". Για τις χαμηλές συχνότητες χρησιμοποιούνταν ένας baffled κώνος που η διάμετρος του ανοίγματος του έφτανε τις 15". Χρησιμοποιήθηκαν 4 οδηγοί 15" για τις κόρνες των χαμηλών συχνοτήτων και 284 αλουμινένιοι οδηγοί για διάφορες κόρνες πολλαπλών υποδοχών. Το 1943 ο Lansing κατασκευάζει ένα ηχείο δύο δρόμων, το μοντέλο 604. Το 1945 βγαίνει στην αγορά το ηχητικό σύστημα 2 δρόμων «Φωνή του Θεάτρου» με εξελιγμένες κόρνες και οδηγούς χρήσης μαγνήτη. Το 1947 η JBL (ίδρυση το 1927) φτιάχνει το D-130 15" ηχείο, όπου έγινε γνωστή ως πρώτη φορά η χρήση ενός 4" flat πηνίου για φωνή, σε κωνικό μετατροπέα. Το 1950 ιδρύεται η Cabasse και το 1952 κατασκευάζει τα



Σχήμα 1.1: Το δυναμικό
μεγάφωνο του
Ernst W. Siemens.



Σχήμα 1.2: Το 604E του Lansing
(πάνω) και το AR-3
της Acoustical
Research (κάτω).

πρώτα ομοαξονικά ηχεία 2 δρόμων για κινηματογράφο. Το 1954 ιδρύεται η Acoustic Research (AR) και την ίδια χρονιά κατασκευάζει το woofer AR-1 που λειτουργεί με ανάρτηση και δίνει μια πιο γραμμική απόκριση στις χαμηλές συχνότητες απ' ότι τα προηγούμενα μεγάφωνα. Επίσης λόγω της ανάρτησης μειώνεται και η παραμόρφωση. Το woofer ακουστικής ανάρτησης χρησιμοποιεί την ελαστικότητα του αέρα ενός περιφραγμένου χώρου όγκου περίπου 48 λίτρων για να εφοδιάσει την ενέργεια επαναφοράς του κώνου. Το 1954 η JBL συστήνει το μεγάφωνο 375 υψηλών συχνοτήτων με οδηγό συμπίεσης (compression driver) όπου είναι και το πρώτο μεγάφωνο με flat συχνοτική απόκριση ως και τα 9kHz. Τον ίδιο χρόνο η Cervin Vega κατασκευάζει ένα μεγάφωνο 18" ικανό να παράγει 130 dB SPL στα 30Hz. Το 1957 η AR συνεχίζει με το AR-2 και έπειτα βάση της λογικής της ακουστικής ανάρτησης (AR-1) και σε συνδυασμό με τη δημιουργία ημισφαιρικού μεγαφώνου, κατασκευάζει το AR-3.

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι μέχρι και τη δεκαετία του '60 τα πράγματα στον τομέα του PA ήταν ακόμα πολύ απλοϊκά. Τοπικές μπάντες χρησιμοποιούσαν μικρά ηχητικά συστήματα, δηλαδή κονσόλα ενισχυτές και δύο στήλες μεγαφώνων. Για μεγάλες συναυλίες εξωτερικού χώρου τα ηχεία στοιβάζονταν στο έδαφος. Μέχρι και τα τέλη του '60 το πιο κοινό σύστημα PA βασιζόταν στη προσέγγιση δυο στοιβαγμένων στηλών, όπου κάθε μια αποτελούνταν από τέσσερα 12" ή 2x15" ηχεία για τις χαμηλές συχνότητες και για τις υψηλές γίνονταν προσθήκη χοανών ή tweeters. Οι καμπίνες συνήθως κατασκευάζονταν από πεύκο ή καπλαμά. Το 1969 η JBL ενισχύει ηχητικά το Woodstock καθώς και άλλα σπουδαία Rock Festivals. Για το Woodstock είχαν στηθεί ειδικές συστοιχίες ηχείων πάνω στους λόφους του χώρου. Επίσης είχαν κατασκευαστεί άλλες 16 στήλες ηχείων, σε τετράγωνα πλατφόρμες οι οποίες έφταναν τα 21 μέτρα ύψος, όπου είχαν τοποθετηθεί για να καλύψουν από 180.000 ως και 200.000 άτομα ακροατήριο (αν και εμφανίστηκαν 500.000 όπως αναφέρει ο Bill Hanley - τεχνικός ήχου του φεστιβάλ). Την ίδια περίοδο η Altec είχε σχεδιάσει καμπίνες από κόντρα πλακέ θαλάσσης που ζύγιζαν μισό τόνο η κάθε μία, διαστάσεων: 1.8m ύψος, 1.2m βάθος και 0.91m πλάτος. Κάθε καμπίνα περιείχε 4x15" μεγάφωνα D 140 της JBL. Ο τομέας των υψηλών συχνοτήτων είτε καλύπτονταν από 8 tweeters όπου μοιράζονταν σε δύο καμπίνες, είτε καλύπτονταν από 20 tweeters όπου μοιράζονταν σε 10 καμπίνες. Η τροφοδοσία ήταν 2000 Ambers.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 υπήρχαν διάφορα PA συστήματα όπου ένα συνηθισμένο τριών δρόμων μπορούσε να είναι το εξής: 2x15" JBL 4560 woofer σε καμπίνες για τα Low-Mid, κόρνες JBL 2482 ή 2441 για High-Mid και tweeters για High. Με χρήση ενισχυτών όπως Crown, SAE, Yamaha, BGW και κονσόλες όπως την PM200 της Yamaha ή την Series 1S της Soundcraft. Πέρα από τον ηχητικό εξοπλισμό του Woodstock υπάρχουν άλλα δύο αξιοσημείωτα γεγονότα που στιγμάτισαν την ιστορία του PA στα μέσα της δεκαετίας του '70. Το California Jam και το Wall of Sound (Grateful Dead).



Σχήμα 1.3: Συνηθισμένη συστοιχία PA της δεκαετίας του '70.

1.2 California Jam

Για το California Jam ένα άρθρο του Wayne Yentis δίνει αρκετές πληροφορίες. Η Tycobrahe Sound Company ανέλαβε την ηχητική ενίσχυση των 54.000 Watt με ηχητική στάθμη πίεσης 105 dB SPL στο ένα μίλι, ενώ γύρω στα 50 μέτρα απ' το stage όπου βρίσκονταν η κονσόλα μετρήθηκαν 120-126 dB. Παρόλα αυτά γενικά ειπώθηκε ότι το σύστημα δεν ήταν αρκετό για την κάλυψη όλου του κοινού καθώς στο φεστιβάλ παρευρέθηκαν 200.000 άτομα. Στις αρχές πίστευαν ότι θα έχουν γύρω στις 60.000 κοινό και κάλυψη στα 300m απ' το stage. Ένας απ' τους πρώτους παράγοντες στησίματος ήταν η καλυπτόμενη απ' το stage εντός πεδίου περιοχής, να εκμεταλλεύεται του υπερισχύοντα ανέμου, κάτι το οποίο επιτεύχθηκε καθώς ο άνεμος είχε σταθερή πορεία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Υπολογίστηκε ότι ένα «standar» ηχητικό σύστημα (set ενισχυτών και 2 στήλες ηχείων) επαρκές για 10.000 άτομα και για την περίμετρο των 300m σε εξωτερικό χώρο χρειάζεται 6.000 Watt. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο πολλαπλασίασαν το «standar» set ώστε να καλύψει όλο το κοινό. Φυσικά ο κανόνας δεν ήταν ακριβής καθώς το ηχητικό κύμα δεν σταματάει ακαριαία σε μία απόσταση, αλλά πρακτικά είχε αποτέλεσμα. Όταν ενημερώθηκαν ότι το κοινό θα ξεπεράσει τις 200.000 μία επιπρόσθετη συστοιχία μεγαφώνων τοποθετήθηκε σε απόσταση 300m από το πρώτο. Αυτά τα ηχεία κοιτάζαν προς τα έξω και τροφοδοτούνταν από σήμα καθυστερημένο κατά 859msec με χρήση tape delay recorder της Eventide Clockwork digital delay unit. Όλος ο βασικός εξοπλισμός σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την Tycobrahe. Η κονσόλα ήταν η Tycobrahe Model MX24-4 input mixer με stereo main και monitor outputs και οι ήταν οι ενισχυτές BFA 2000 bi-amplifiers των 2000 Watt. Ο τομέας ενίσχυσης των χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούσε τα 1500 Watt και ο τομέας των υψηλών τα 500 Watt, με συχνότητα διαχωρισμού στα 800 Hz. Οι ενισχυτές ήταν τοποθετημένοι σε ειδικά κατασκευασμένα rack. Πέρα απ' την FOH κονσόλα υπήρχαν άλλες 2 MX24-4 ως monitor κονσόλες.

Για την αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων, η Tycobrahe χρησιμοποίησε καμπίνες τύπου bass reflex οι οποίες έδιναν μία αρκετά ομαλή εντασιακή κάλυψη. Επίσης δοκίμασαν όλα τα μεγέθη όγκου από 2 έως 9 κυβικά μέτρα μέχρις ότου η περαιτέρω αύξηση του όγκου να μην έφερνε διαφορά στην συχνοτική απόκριση, κάτι που συνέβη γύρω στα 3,2 κυβικά μέτρα. Οπότε οι τελικές καμπίνες όγκου 3,2 κυβικών μέτρων, είχαν από δύο JBL 2220A, έναν οδηγό 2482 με μία mid-range κόρνα και κάποια tweeters 2075.

Για την τοποθέτηση των ενισχυτών και των ηχείων εγκαταστάθηκαν 2 πύργοι 6 επιπέδων συνολικού ύψους 16,5 μέτρων. Ένας σε κάθε πλευρά του stage. Το πρώτο επίπεδο ήταν κενό, το δεύτερο επίπεδο κάθε πύργου περιείχε κόρνες μπάσων 2,5m οδηγούμενες από 2x18" woofers. Το τρίτο επίπεδο είχε 7 μικρότερες κόρνες και τα τρία τελευταία επίπεδα κάθε πύργου ήταν φορτωμένα με 50 Tycobrahe bass reflex καμπίνες. Σημειώθηκε προσοχή στην κάθετη τοποθέτηση των μεγαφώνων με σκοπό να διατηρηθεί το σύστημα σε φάση και συνολικά τοποθετήθηκαν περίπου 225 tweeters. Όπως αναφέρει ο Jim Gamble: «Εάν τοποθετήσεις αρκετά μεγάφωνα μαζί, ως προβολή, παίρνεις μία μεγάλη και πλατιά ακτινοβολία η οποία λειτουργεί σαν ένα τεράστιο αλληλοσυμπληρωμένος τοίχος, πάνω σ' αυτή την αλληλοσυμπλήρωση βασιζόμαστε». Κάτι που σαν θεωρία φέρει την αρχή λειτουργίας του line array συστήματος.



Σχήμα 1.4: Στήλη ηχείων από το California Jam.

1.3 Wall of Sound

Ένα επίσης σημαντικό ηχητικό σύστημα είναι το Wall of Sound, που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ως προσωπικό PA των Grateful Dead το 1974. Σχεδιάστηκε από τον Owsley “Bear” Stanley. Αυτή ήταν η εκπλήρωση μιας επιθυμίας της μπάντας για ένα σύστημα απελευθερωμένο απ’ την παραμόρφωση και που επίσης το ίδιο θα χρησιμοποιούνταν για monitoring. Όπως αναφέρει ο Stanley: «*To Wall of Sound είναι το όνομα που μερικοί άνθρωποι έδωσαν σε ένα πολύ ισχυρό και εξαιρετικά ακριβές σύστημα PA που σχεδίασα και επέβλεψα την κατασκευή του το 1973 για τους Grateful Dead*». Ήταν ένα τεράστιο τοίχος ηχείων στημένο πίσω από τους μουσικούς, όπου οι ίδιοι είχαν τον έλεγχο χωρίς καμία FOH κονσόλα και δεν χρειάζονταν επιπλέον συστοιχίες, τροφοδοτημένες με καθυστερημένο σήμα, για να καλύψουν την απόσταση έως και μισού μιλίου από το στάδιο.

Ο Stanley, ο Dan Healy και ο Mark Raizene του ηχητικού προσωπικού των Grateful, σε συνεργασία με τον Ron Wickersham, τον Rick Turner και τον John Curl της Alembic συνδύασαν έξι ανεξάρτητα συστήματα ήχου με χρήση έντεκα διαφορετικών καναλιών, σε μια προσπάθεια να παρέχουν ήχο υψηλής ποιότητας στο ακροατήριο. Μοιράζοντας φωνητικά, κιθάρα, ρυθμική κιθάρα και πιάνο όπου ο καθένας τους είχε το δικό του κανάλι και το αντίστοιχο σύνολο μεγαφώνων. Το μπάσο του Phil Lesh είχε περαστεί από ένα τετράφωνο κωδικοποιητή που έστειλε καθεμία από τις τέσσερις χορδές σε ένα ξεχωριστό κανάλι και σε αντίστοιχο σετ ηχείων. Ένα κανάλι ενίσχυε τη μπότα του drummer και άλλα δύο κανάλια (ως overhead) έπαιρναν το ταμπούρο, τα toms και τα κύμβαλα. Κάθε ηχείο εξέπεμπε μόνο ένα όργανο ή φωνή με σκοπό να αποφευχθεί η παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation distortion).

Το Wall of Sound αποτελούνταν από 89 solid-state ενισχυτές 300Watt και 3 vacume-tube ενισχυτές 350 Watt που παρήγαγαν συνολικά 26.400 watt RMS audio ισχύος. Το σύστημα αυτό έδινε υψηλή ποιότητα playback ήχου μέχρι και στα 180 μέτρα με έναν ικανοποιητικό ήχο όπου από εκεί άρχιζε να εξασθενεί λόγω της παρεμβολής του ανέμου.

Το Wall of Sound ήταν η πρώτη εφαρμογή και προσπάθεια προσέγγισης ενός σημερινού «line array» συστήματος σε πολύ πιο πρώιμη μορφή. Ήταν ίσως το δεύτερο μεγαλύτερο φορητό σύστημα ήχου που κατασκευάστηκε ποτέ όπου η έννοια «φορητό» είναι σχετική καθώς αποτελούνταν από δύο stages. Το ένα θα προχωρούσε στην επόμενη πόλη για να ξεκινήσει την εγκατάσταση το ταχύτερο δυνατόν, ενώ το άλλο χρησιμοποιούνταν. Έπειτα το προηγούμενο έπρεπε να πάει κατευθείαν στην επόμενη συναυλία. Για τη μεταφορά και το στήσιμο του Wall of Sound (βάρους 75 τόνων) χρειάζονταν τέσσερα φορτηγά και 21 άτομα προσωπικό.

Επειδή το Wall of Sound ήταν παράλληλα και monitor χρειάστηκε να σχεδιαστεί ειδικό σύστημα μικροφώνων για να αποτρέψουν το feedback. Οπότε τοποθετήθηκαν ζεύγη πυκνωτικών μικροφώνων σε μεταξύ τους απόσταση 6cm και με αναστροφή φάσης.

Μόνο μία θέση πηγής χρησιμοποιείται για κάθε κανάλι για να καλύψει το σύνολο του εκάστοτε χώρου οπότε η μουσική είναι πιο διαυγής και στο stage και στο ακροατήριο. Η στερεοφωνική εικόνα που δίνεται είναι πολύ ικανοποιητική και φυσιολογική απ’ ότι των συμβατικών PA.

1.4 Σύγκριση Wall of Sound με συμβατικά συστήματα της τότε εποχής

Το Wall of Sound λόγω του τρόπου στησίματος και λειτουργίας του, είχε κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα συμβατικά ηχητικά συστήματα εκείνης της εποχής. Παραδείγματος χάριν: Στον περίγυρο ενός χώρου ακρόασης όπου υπήρχαν ανακλαστικές επιφάνειες (τοίχοι, ταβάνι κλπ), κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού συστήματος θα

παράγονταν υπερβολική αντήχηση και ηχώ. Στην περίπτωση του Wall of Sound, επειδή κάθε όργανο έρχονταν από μια ξεχωριστή πηγή, η ηχώ και η αντήχηση διαχέονταν περισσότερο και γίνονταν λιγότερο αντιληπτή. Επίσης καθώς η πηγή του Wall of Sound ήταν υπερυψωμένη και στόχευε προς τα κάτω, το αποτέλεσμα ήταν τον αρχικό ήχο (direct σήμα) αλλά και την πρώτη αντανάκλαση, εν μέρει να τα απορροφούσε το κοινό, εφόσον έπεφταν πάνω του.

1.5 Ανάλυση των οργάνων του Wall of Sound

Τα σήματα από καθένα από τα μικρόφωνα των φωνών, πέρναγε από ένα διαφορετικό άθροισμα ενίσχυσης, όπου η διατήρηση της φάσης ήταν δυνατό να ρυθμιστεί και να δώσει την αυθεντικότητα του ήχου. Από εκεί το συνδυασμένο σήμα πήγαινε σε ένα crossover το οποίο χώριζε την περιοχή συχνοτήτων σε τέσσερις μπάστες (Low, Low-Mid, High-Mid και High). Από εκεί και πέρα το σήμα κάθε περιοχής ενισχύονταν ξεχωριστά από τους ενισχυτές: MacIntosh 2300 που τροφοδοτούσαν τα JBL 15", 12" και 5" και tweeters της Electrovoice για τις τέσσερις συχνοτικές περιοχές αντίστοιχα.

Οι βασικές συστοιχίες του φωνητικού συστήματος που αποτελούνταν από High και Mid-range ηχεία, ήταν καμπυλωμένες για πιο διευρυμένη κάθετη ηχητική κάλυψη. Γενικά η κάθετη κατευθυντικότητα ήταν πολύ στενή ενώ η οριζόντια ήταν μεταξύ των 140 και των 180 μοιρών. Τα μεγάφωνα χαμηλότερης συχνοτικής περιοχής ήταν διατεταγμένα σε μια στήλη, κάθε τύπος ηχείου είχε σχεδιαστεί με σκοπό να έχει την ίδια οριζόντια και κάθετη κατευθυντικότητα, έτσι ώστε όλες οι συχνότητες να ακούγονται εξίσου καλά. Οι κώνοι των ηχείων ήταν τοποθετημένοι μαζί έτσι ώστε όλη η επιφάνεια της εκάστοτε συστοιχίας να λειτουργεί ακέραια. Μια σημαντική βελτίωση της ποιότητας του ήχου των φωνητικών οφείλεται στη χρήση (differential) μικροφώνων. Κάθε τραγουδιστής είχε ένα ιδανικό ζεύγος τοποθετημένων μικροφώνων Briel και Kjaer σε διαφορά φάσης, όπου τραγούδαγε μόνο στο ένα. Κάθε ήχος που πήγαινε εξίσου και στα δύο μικρόφωνα, ακυρώνονταν όταν τα δύο αυτά σήματα αθροίζονταν. Κατά συνέπεια, στο κανάλι της φωνής, διαρροή σήματος (leakage) από τα όργανα και θόρυβοι βάθους ελαχιστοποιούντουσαν. Το σύστημα του πιάνου ήταν μια μικρή έκδοση του συστήματος των φωνητικών. Στην περίπτωση αυτή ένα crossover χώριζε το φάσμα συχνοτήτων σε τρία μέρη. Οι High και οι Mid συχνότητες δρομολογούνταν από μια συστοιχία μεγαφώνων 5" και 12" αντίστοιχα. Οι χαμηλές συχνότητες δρομολογούνταν από μια στήλη ηχείων 15".

Το σύστημα των drums είχε δύο αυτόνομα μέρη. Η μπότα χρησιμοποιούσε ένα κανάλι ενίσχυσης και 16x 15" ηχεία σε μια στήλη. Τα υπόλοιπα τύμπανα και κύμβαλα ήταν δρομολογημένα σε ένα crossover που χώριζε το σήμα σε High, High-Mid και Low-Mid και τροφοδοτούσε με αυτό tweeters και μεγάφωνα 5" και 12" αντίστοιχα. Αυτό το δεύτερο μέρος των τυμπάνων χρησιμοποιούσε δύο κανάλια όπως ήταν stereo με πανομοιότυπες στήλες μεγαφώνων και στις δύο πλευρές. Οι δύο κιθάρες χρησιμοποιούσαν το ίδιο σύστημα όπου κάθε σύστημα αποτελούνταν από συστοιχίες 20 ηχείων 12".

Ο μπασίστας χρησιμοποιούσε ένα quadraphonic μπάσο όπου για καθένα από τους μαγνήτες των bass και treble υπήρχαν επιλογές που του επέτρεπαν να διαμορφώνει: 1) το εύρος ζώνης του φίλτρου, 2) την κεντρική συχνότητα του φίλτρου, 3) το είδος των φίλτρων που χρησιμοποιούνται και 4) mix dry/wet (άμεσο ήχο με τον επεξεργασμένο ήχο). Η κύρια αλλαγή είναι η πρόσθεση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος ψηφιακού αποκωδικοποιητή δίνοντας 10 κουμπιά με τα οποία ο Phil μπορούσε να επιλέξει μία από τις 16 χωρικές ρυθμίσεις των μεγαφώνων του (οκτώ σε στερεοφωνική λειτουργία).

Το σύστημα του μπάσου είχε δύο συστοιχίες στοιβαγμένων ηχείων 15". Τέσσερις ενισχυτές δεδομένου ότι το όργανο είχε τη δυνατότητα να λειτουργεί σε ξεχωριστή έξοδο για κάθε μία από τις τέσσερις χορδές.

1.6 Τελική Εξέλιξη

Το 1975 η JBL κατασκεύασε το Model 4682 “strongbox” line array και το 1980 σύστηνε μία διαξονική κόρνα σταθερής κατευθυντικότητας (Bi-Radial© Constant-Coverage). Στις αρχές τις δεκαετίας του ‘80 ήδη το PA τεσσάρων δρόμων ήταν πλέον συνηθισμένο και πλέον με τη χρήση οδηγών πίεσης (compression driver) και χοανών σταθερής κατευθυντικότητας (Constant-Coverage) και με αυτή τη λογική συνεχίστηκε η εξέλιξη των ηχητικών συστημάτων. Τελικά στις αρχές της δεκαετίας του ‘90 η L-Acoustics(μια Γαλλική εταιρία) κατασκεύασε το V-DOSC (σχήμα 1.5) το οποίο έχει θεωρηθεί ως το πρώτο line array ηχητικό σύστημα για συναυλιακή χρήση.



Σχήμα 1.5: Το V-DOSC line array σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΙΑ LINE SOURCE

2.1 Harry F. Olson

Προτού γίνει αναφορά στη θεωρία των line sources θα ήταν σημαντικό να γίνει μία ιστορική αναφορά στον Harry Ferdinand Olson (Δεκέμβριος 28, 1901 – Απρίλιος 1, 1982) ο οποίος αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη της ακουστικής του 20^{ου} αιώνα αλλά και σε θεμελιώδης αρχές λειτουργίας των line sources.

Ο Harry F. Olson είχε κλίση στις εφευρέσεις καθώς ήδη σε μικρή ηλικία δημιούργησε και πέταξε μοντέλα αεροπλάνων, κατασκεύασε μια ατμομηχανή και ανακάλυψε ένα λέβητα καύσης ξύλων που τροφοδοτούσε μία γεννήτρια 100-volt DC. Με την κατασκευή και εξάσκηση σε ένα ερασιτεχνικό ραδιοφωνικό πομπό, κέρδισε αρκετή επάρκεια ώστε να του χορηγηθεί άδεια διαχείρισης. Ο Olson πήρε πτυχίο Ηλεκτρολόγου Μηχανικού από το Πανεπιστήμιο της Αϊόβα, στη συνέχεια έκανε μεταπτυχιακό με διατριβή στα φίλτρα ακουστικών κυμάτων σε στερεά και τέλος έκανε το διδακτορικό του στη Φυσική, όπου μελετούσε την πόλωση της ακτινοβολίας της αντήχησης σε υδράργυρο.

Τελειώνοντας τις σπουδές του το 1928, ο Olson μετακόμισε στο New Jersey για να εργαστεί στα εργαστήρια της RCA και το 1934 έγινε επικεφαλής των ακουστικών ερευνών. Εκεί εργάστηκε σε διάφορα projects που αφορούσαν τον ήχο, όπως τη βελτίωση μικροφώνων broadcasting και μικροφωνικού εξοπλισμού κινηματογραφικών ταινιών. Επίσης ασχολήθηκε με τη βελτίωση μεγαφώνων άλλα και με την εξέλιξη των εγγραφών μαγνητικής ταινίας (magnetic tape recorder). Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ο Olson έκανε επίσης σημαντικές συνεισφορές στη στρατιωτική τεχνολογία. Ασχολήθηκε ιδιαίτερα με τον υποθαλάσσιο ήχο. Μετά τον πόλεμο μαζί με τον Herbert Belar ανέπτυξαν το πρώτο σύγχρονο ηλεκτρονικό συνθεσάιζερ (Mark II Sound Synthesizer) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για μουσικές παραγωγές του εμπορίου. Ο Olson αποσύρθηκε από την RCA το 1967, συνεχίζοντας ως σύμβουλος για την RCA Laboratories.

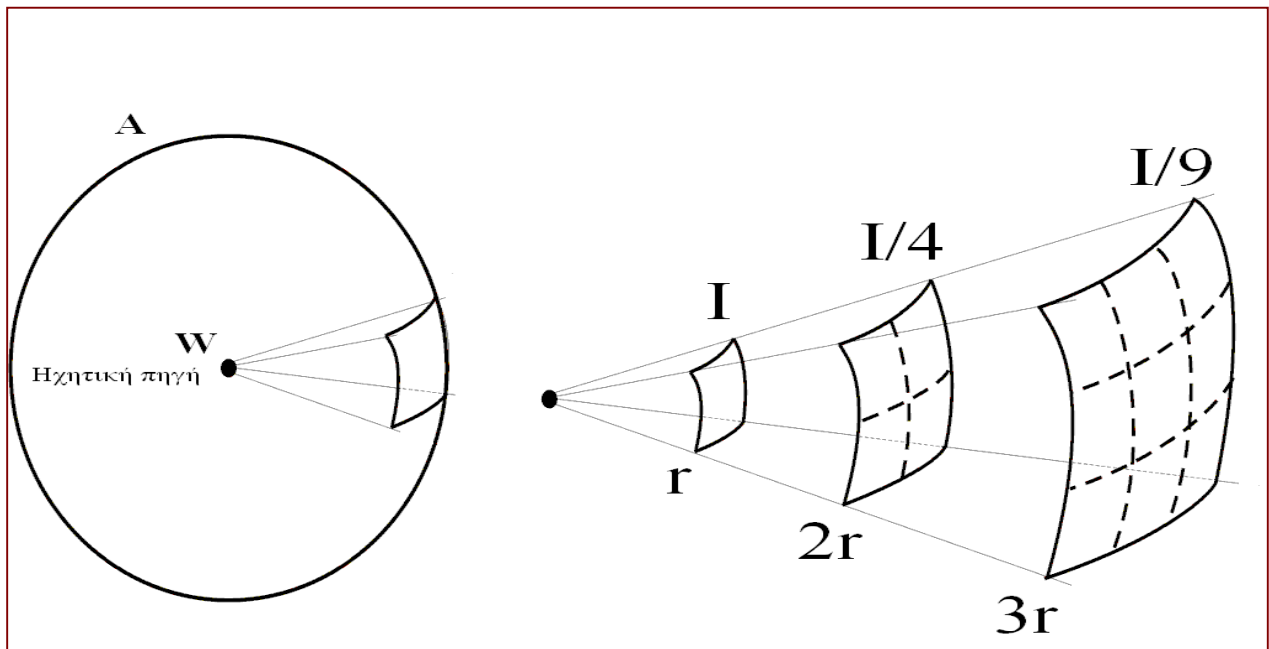
Ως παραγωγικός εφευρέτης και μηχανικός, ο Olson κέρδισε περισσότερα από 100 διπλώματα ευρεσιτεχνίας (συμπεριλαμβανομένου και των ευρέως χρησιμοποιούμενων μικροφώνων RCA 44-series και RCA 77-series). Τα διπλώματα επίσης σχετιζόντουσαν με μικρόφωνα καρδιοειδούς κατευθυντικότητας, διαφράγματα μεγαφώνων, ηχεία ανάρτησης αέρα, ισοβαρή μεγάφωνα, πρωταρχικούς εγγραφείς βίντεο, εξοπλισμό εγγραφής ήχου, μαγνήτες φωνογράφου, υποθαλάσσιο εξοπλισμό ήχου, μείωση θορύβου, τεχνολογία ήχου σε κινηματογράφο και συστήματα P.A. που ανέπτυξε. Έχει συγγράψει 135 άρθρα και δέκα βιβλία συμπεριλαμβανομένου ενός διεπιστημονικού κειμένου αποτυπώνοντας τις δυναμικές αναλογίες μεταξύ ηλεκτρικών, ακουστικών και μηχανικών συστημάτων.

Το 1949 ο Olson τιμήθηκε ως ο πρώτος αποδέκτης του μνημονικού βραβείου: John H. Potts της Audio Engineering Society, ένα πρόγραμμα το οποίο μετονομάστηκε αργότερα σε: χρυσό μετάλλιο. Το 1952 ο Olson υπηρέτησε ως πρόεδρος της Acoustical Society of America, η οποία του απένειμε το Αργυρό Μετάλλιο της Ακουστικής Τεχνολογίας το 1974 και το Χρυσό Μετάλλιο το 1981. Κέρδισε το μετάλλιο IEEE Lamme το 1970, εξελέγη στην Εθνική Ακαδημία Επιστημών το 1959 και ήταν αποδέκτης πολλών άλλων τιμητικών τίτλων κατά τη διάρκεια της ζωής του. Στο βιβλίο του Acoustical Engineering το 1957 πέρα των άλλων, έγραψε σημαντικά θεωρήματα πάνω στη λειτουργία των γραμμικών ηχητικών πηγών (line sources).

2.2 Σημειακή πηγή

Γενικά στο περιβάλλον υπάρχουν διάφορες ηχητικές πηγές όπως η ανθρώπινη φωνή, οι θόρυβοι μηχανών, τα μουσικά όργανα κλπ. Κάποιες βασικές μεταβλητές αυτών είναι: η έντασή τους, η μορφή κατευθυντικότητάς τους και η απόδοσή τους σε σχέση με τη συχνότητα που εκπέμπουν. Πάνω σ' αυτά τα χαρακτηριστικά θα παρατηρηθούν και θα μελετηθούν τα εξής μοντέλα ηχητικών πηγών: Σημειακή πηγή, Διπολική πηγή (δίπολο), Ευθεία Γραμμική πηγή, Κωνική Ευθεία Γραμμική πηγή, Γραμμική πηγή Τελικής Τροφοδότησης και Καμπυλωτή Γραμμική πηγή.

Σημειακή πηγή είναι μία πηγή η οποία εκπέμπει ομοιόμορφα με ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις σ' ένα πεδίο, όπου η διάδοση του ήχου πραγματοποιείται χωρίς ανακλάσεις και το μέτωπο του είναι επιφάνεια σφαίρας. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί και εικονικά στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Περιγραφική σχέση απόστασης r με έντασης I .

Με W συμβολίζεται η ολική ισχύς της πηγής, με I η ένταση και με A μία φανταστική τριών διαστάσεων σφαιρική περιφέρεια απόστασης r από το κέντρο της πηγής. Για απόσταση r η ένταση I είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις. Θεωρητικά η πηγή αιωρείται στον αέρα χωρίς εμπόδια γύρω της, άρα βρίσκεται σε ελεύθερο πεδίο και παράγει ένα σφαιρικό κύμα. Η περιφέρεια ισούται με $A=4\pi r^2$ και για την ένταση σε κάθε επιφάνεια ισχύει: $I= W/4\pi r^2$. Μέσα από αυτή τη σχέση και το σχήμα μπορεί να διαπιστωθεί ότι η ένταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης. Κάθε διπλασιασμός της προκαλεί τέσσερις φορές μείωση της έντασης. Οπότε για μία σφαιρική πηγή, με κάθε διπλασιασμό της απόστασης προκαλείται μείωση 6dB SPL.

2.3 Σημειακή πηγή στον χώρο

Όπως στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι πιθανό το πεδίο να μην είναι ελεύθερο αλλά να υπάρχουν ανακλαστικές επιφάνειες γύρω απ' την πηγή. Σ' αυτήν την περίπτωση η πηγή δεν εκπέμπει σφαιρικά αλλά κατευθυντικά και υπάρχουν δύο μονάδες προσδιορισμού αυτής

της διαφοράς. Η πρώτη μονάδα ονομάζεται παράγοντας κατευθυντικότητας, συμβολίζεται με

Q και ισούται με: $Q = \frac{I_H}{I_0}$ όπου,

I_0 , η ένταση για ομοιόμορφη εκπομπή και

I_H , η ένταση της πηγής σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση

Η δεύτερη μονάδα ονομάζεται δείκτης κατευθυντικότητας και για κάθε κατεύθυνση H δίνεται από τον παρακάτω τύπο. Όπου η διαφορά της έντασης είναι σε dB.

$$DI_H = 10 \log \frac{I_H}{I_0}$$

Υπάρχουν τέσσερις τοποθετήσεις (σχήμα 2.2):

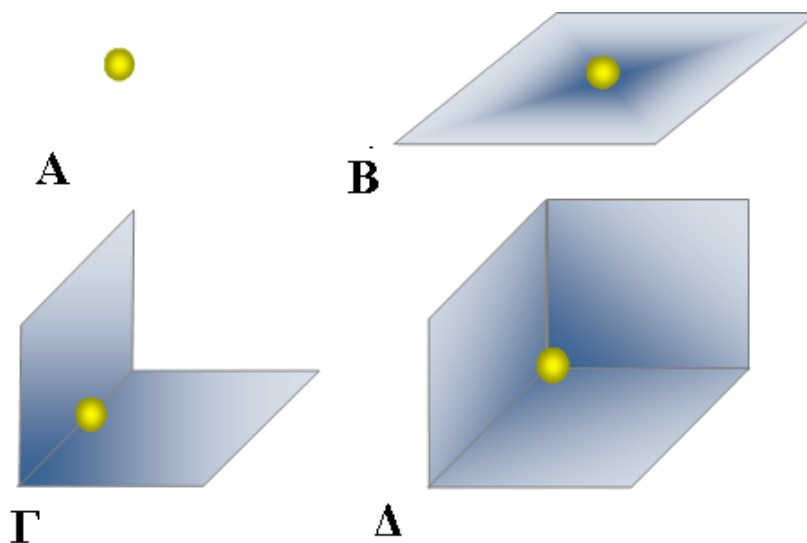
A. Είναι η περίπτωση που αναλύθηκε πιο πάνω όπου η πηγή εκπέμπει σε ελεύθερο πεδίο ένα σφαιρικό κύμα. Το I_H ισούται με το I_0 . Το **Q** ισούται με 1 και το DI_H με 0dB.

B. Είναι η τοποθέτηση κατά την οποία η πηγή εκπέμπει σε ημιάπειρο μέσο. Δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί πως βρίσκεται τοποθετημένη σε ένα πάτωμα χωρίς τοίχους ή όρθιες επιφάνειες στον περίγυρο. Τώρα το I_H ισούται με 1 οπότε και το **Q** ισούται με 2. Το DI_H ισούται με 3dB. Αυτό σημαίνει ότι για την ίδια απόσταση από την πηγή, η ηχητική πίεση είναι δύο φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την περίπτωση A.

Γ. Για αυτή την περίπτωση η πηγή είναι τοποθετημένη σε μία ακμή. Δηλαδή έρχεται σε επαφή με δύο κάθετες άπειρες επιφάνειες. Τώρα το I_H ισούται με 4 οπότε και το **Q** ισούται με 4 ενώ το DI_H ισούται με 6dB. Άρα για την ίδια απόσταση από την πηγή, η ηχητική πίεση είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την περίπτωση A.

Δ. Αυτή είναι η τελευταία περίπτωση όπου η πηγή είναι τοποθετημένη σε μία γωνία και έρχεται σε επαφή με τρεις επιφάνειες, δύο κάθετες και μία τρίτη που εφάπτεται κάθετα στη μία πλευρά των 90 μοιρών και σχηματίζουν όλες μαζί μία γωνία. Το I_H ισούται με 8 οπότε και το **Q** ισούται με 8 ενώ το DI_H ισούται με 9dB και η ηχητική πίεση τώρα είναι οχτώ φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την περίπτωση A.

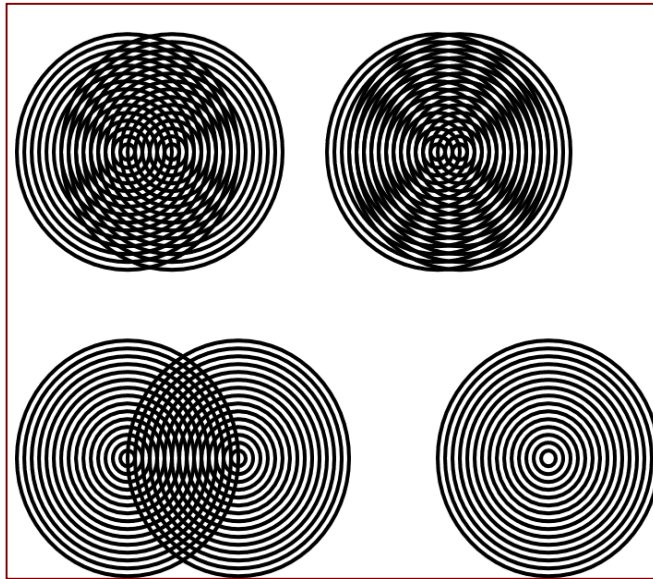
Οι κανόνες για τις παραπάνω περιπτώσεις μπορούν να ισχύσουν στην πράξη εφόσον οι διαστάσεις των πηγών είναι μικρές σε σύγκριση με τα μήκη κύματος που εκπέμπουν. Θα μπορούσε δηλαδή η περίπτωση B να είναι ένα μεγάφωνο τοποθετημένο στο κέντρο ενός άδειου δωματίου. Επίσης στην περίπτωση ανακλαστικών επιφανειών (π.χ. τοίχος) θα πρέπει οι αποστάσεις της πηγής από την επιφάνεια, να είναι μικρές σε σχέση με το μήκος κύματος που εκπέμπεται.



Σχήμα 2.2: Τοποθέτηση απλής σημειακής πηγής (τέσσερις περιπτώσεις).

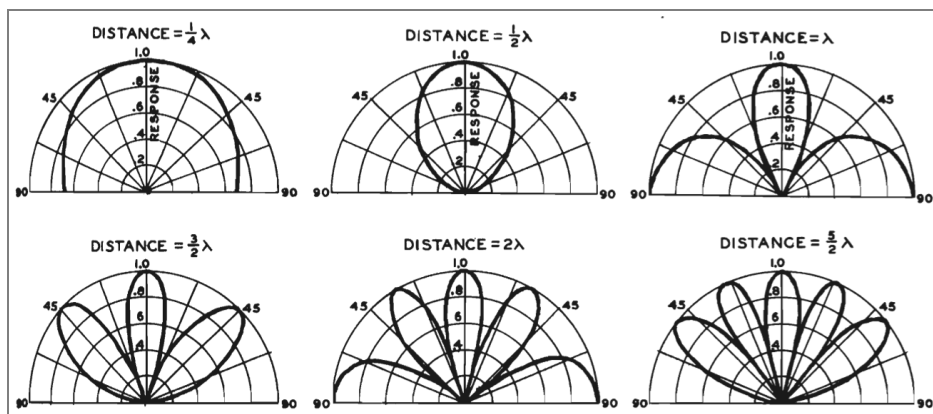
2.4 Διπολική πηγή (δίπολο)

Διπολική πηγή δημιουργείται όταν δύο σημειακές πηγές εκπέμπουν με την ίδια ένταση σε αντίθετη φάση και έχουν μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους σε σχέση με το μήκος κύματος που εκπέμπουν. Η διπολική πηγή παράγει ένα κύμα πιο σύνθετο από το σφαιρικό που εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των πηγών. Επίσης η ένταση με την οποία εκπέμπει για ένα σημείο εξαρτάται απ' τη συχνότητα, απ' την απόσταση μεταξύ των πηγών, την απόσταση του σημείου από το δίπολο και τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των δύο πηγών και του σημείου παρατήρησης.



Σχήμα 2.3: Εκπομπή δίπολου συναρτήσει της απόστασης μεταξύ των πηγών.

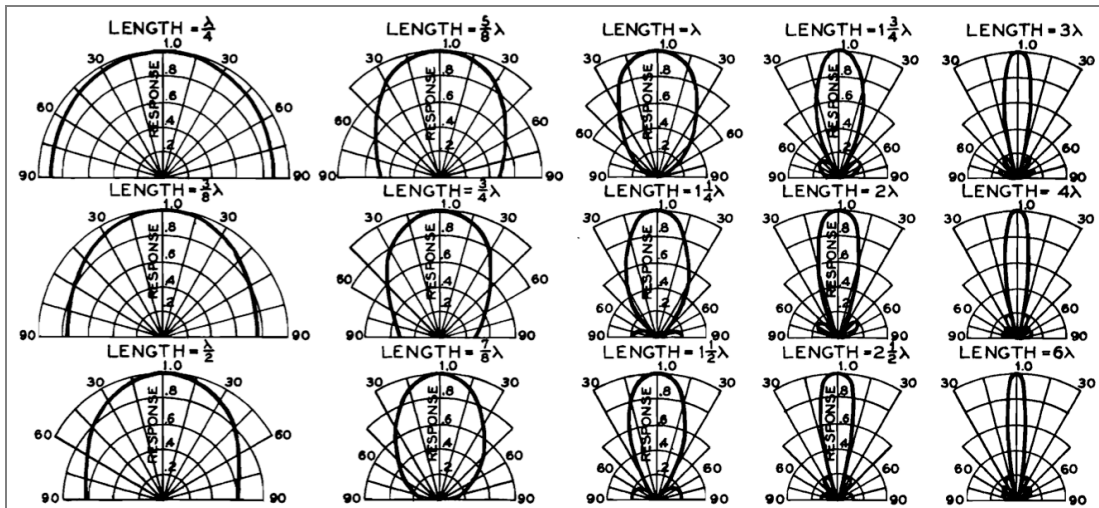
Στο σχήμα 2.3 γίνεται εικονική αναπαράσταση της εκπομπής του δίπολου συναρτήσει της απόστασης μεταξύ των πηγών. Για κάθε απόσταση δημιουργούνται διαφορετικά πυκνώματα και αραιώματα. Παρακάτω στο σχήμα 2.4 παρατίθενται τέσσερις περιπτώσεις διπολικών πηγών συναρτήσει της μεταξύ τους απόστασης. Το πολικό διάγραμμα που παράγουν οι δύο πηγές αλλάζει, βάση της σχετικής τους θέσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση (DISTANCE) από το μήκος κύματος λ της αντίστοιχης συχνότητας, τόσο περισσότεροι λοβοί προκύπτουν.



Σχήμα 2.4: Κατευθυντικότητα δίπολου συναρτήσει της απόστασης μεταξύ των πηγών. Όπου το DISTANCE αντιστοιχεί σε μία απόσταση που ονομάζεται b .

2.5 Straight Line Source (Ευθεία Γραμμική Πηγή)

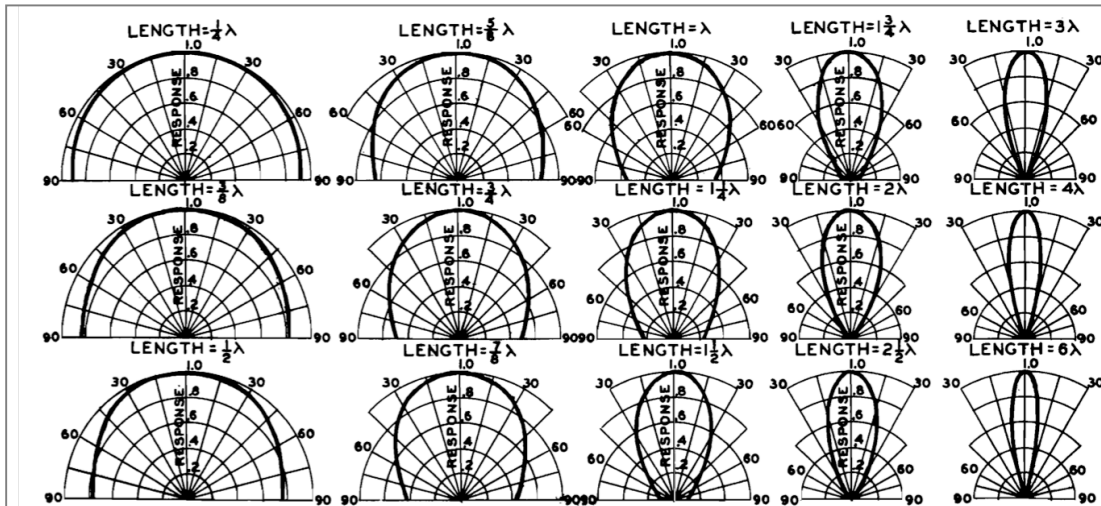
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4, όσο πιο μικρή είναι η απόσταση μεταξύ δύο πηγών τόσο πιο ενιαίο είναι το κύμα που εκπέμπουν. Πάνω σ' αυτή την παρατήρηση βασίζεται και η θεωρία της δημιουργίας μίας ευθείας γραμμικής πηγής (line array source). Η ευθεία γραμμική πηγή μπορεί να δημιουργηθεί από ένα πολύ μεγάλο αριθμό πηγών ίδιας έντασης και φάσης οι οποίες να είναι τοποθετημένες σε μία ευθεία γραμμή σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Έπειτα εάν ο αριθμός των πηγών τείνει προς το άπειρο ($N \rightarrow \infty$) και η απόσταση μεταξύ των πηγών τείνει προς το μηδέν ($b \rightarrow 0$), αυτό που δημιουργείται είναι ένα κυλινδρικό κύμα. Σε αντίθεση προς το σφαιρικό κύμα, για το κυλινδρικό κύμα με κάθε διπλασιασμό της απόστασης από την πηγή ισχύει μείωση της έντασης κατά 3dB SPL. Φυσικά η κατευθυντικότητα του κύματος εξαρτάται από την συχνότητα που εκπέμπει η γραμμική πηγή καθώς για κάθε συχνότητα αλλάζει η σχέση του μήκους κύματος με την απόσταση b . Αυτό μπορεί να γίνει εικονικά πολύ ξεκάθαρο στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας γραμμικής πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος της κάθε συχνότητας εκπομπής.

2.6 Tapered Straight Line Source (Κωνική Ευθεία Γραμμική πηγή)

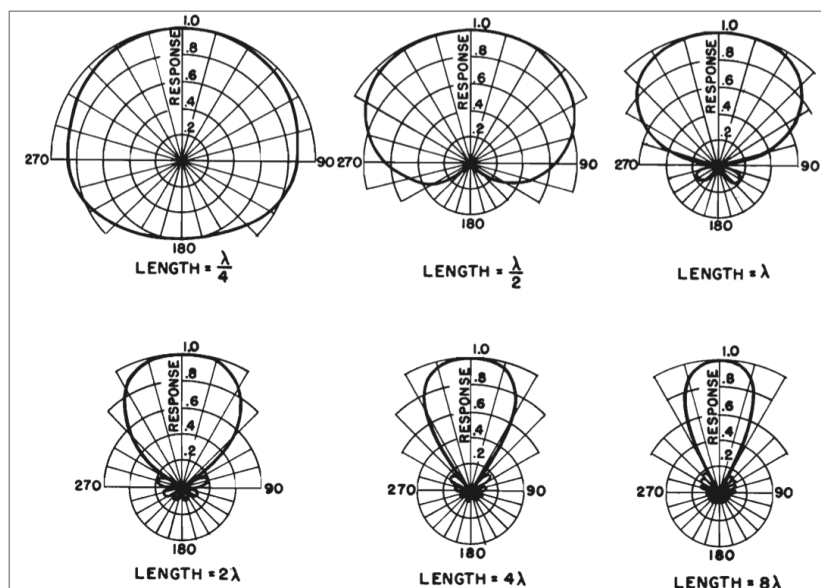
Στην tapered straight line source όλα τα στοιχεία εκπέμπουν με ίδια ένταση και σε φάση αλλά η διαφορά είναι ότι κάθε στοιχείο είναι τοποθετημένο σ' ένα κώνο. Ο κώνος επηρεάζει την κατευθυντικότητα της συνολικής πηγής και το αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6, είναι πιο διευρυμένη κάθετη κάλυψη και επίσης οι δευτερεύοντες λοβοί είναι πιο ασθενείς.



Σχήμα 2.6: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας κωνικής γραμμικής πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος της κάθε συχνότητας εκπομπής.

2.7 End Fired Line Source (Γραμμική Πηγή Τελικής Τροφοδότησης)

Στη γραμμική πηγή τελικής τροφοδότησης μεταξύ των στοιχείων της ολικής πηγής προκαλείται μία βαθμωτή καθυστέρηση φάσης.

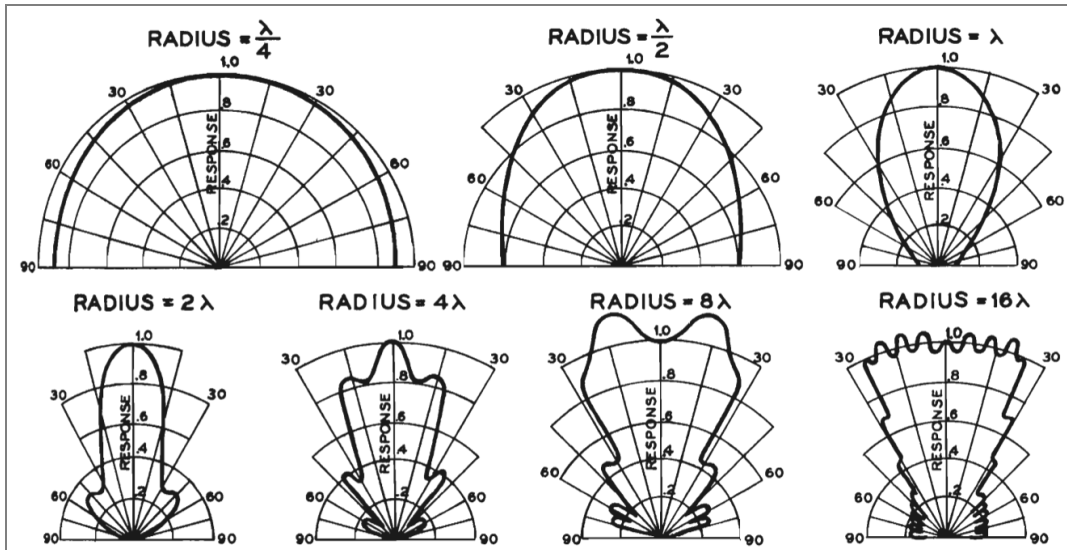


Σχήμα 2.7: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας end fired γραμμικής πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος.

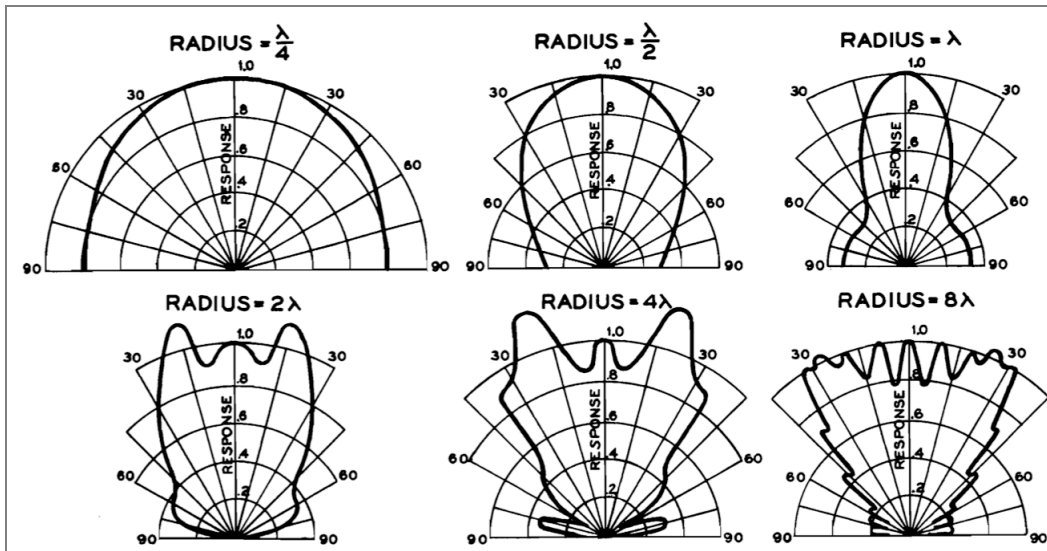
Εφόσον, για μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, ο χρόνος καθυστέρησης της εκπομπής μεταξύ των στοιχείων αντιστοιχεί με το χρόνο διάδοσης του κύματος μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη κατευθυντικότητα.

2.8 Curved Source Array (Καμπυλωτή Γραμμική πηγή)

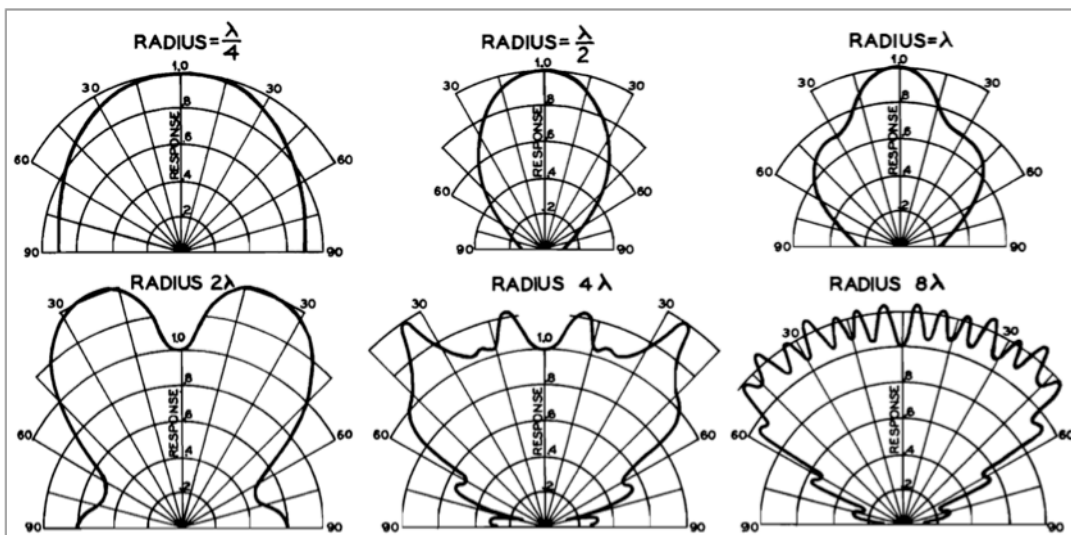
Η καμπυλωτή γραμμική πηγή αποτελείται από ένα «τόξο» σημειακών πηγών ίδιας έντασης και φάσης τοποθετημένες σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους. Ουσιαστικά η πηγή μπορεί να παρομοιαστεί μ' ένα κομμάτι της περιφέρειας ενός κύκλου.



Σχήμα 2.8: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας καμπυλωτής γραμμικής πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος για τόξο με γωνία κλίσης 60° .



Σχήμα 2.9: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας καμπυλωτής γραμμικής πηγής συναρτήσει του μήκους κύματος για τόξο με γωνία κλίσης 90° .



Σχήμα 2.10: Κάθετη κατευθυντικότητα μίας καμπυλωτής γραμμικής πηγής συναρτήσει

Η κατευθυντικότητα της καμπυλωτής γραμμικής πηγής είναι διαφορετική από των υπολοίπων καθώς, στις υψηλές συχνότητες όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.8 προκαλεί «οδοντωτούς» λοβούς. Επίσης ανάλογα με τη συνολική κλίση των πηγών αλλάζει και η κατευθυντικότητα. Όπως παρατηρείται στα σχήματα 2.8, 2.9 και 2.10 έχουμε τρεις ίδιες συστοιχίες για τρεις διαφορετικές γωνίες κλίσης, για 60° , 90° και 120° αντίστοιχα. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία, τόσο μικρότερη είναι η συνολική κατευθυντικότητα της πηγής. Σε γενικά πλαίσια για την καμπυλωτή γραμμική πηγή παρατηρείται ότι στις χαμηλές συχνότητες η κατευθυντικότητα είναι ομοιόμορφη, στην περιοχή όπου το μήκος κύματος της εκπομπής είναι συγκρίσιμο με την απόσταση των πηγών αρχίζουν να δημιουργούνται κάποιοι λοβοί μεγάλης διαφοράς ηχητικής πίεσης των ενισχυτικών και καταστρεπτικών συμβολών και στις υψηλές συχνότητες οι λοβοί αυξάνονται αλλά η διαφορά ηχητικής πίεσης είναι μικρότερη και γενικά το κύμα έχει πιο ελεγχόμενη κατευθυντικότητα.

Το ενδιαφέρον στοιχείο των κατευθυντικών χαρακτηριστικών μιας καμπυλωτής διάταξης είναι ότι αυτά έχουν μεγάλο εύρος σε δυσανάλογα μεγάλα μήκη κύματος συγκριτικά με το συνολικό ύψος της διάταξης ενώ γίνονται στενά, σε μήκη κύματος ανάλογα των διαστάσεων. Γίνονται επιπρόσθετα ευρεία σε μήκη κύματος συγκριτικά μικρά με το μήκος της διάταξης. Η καμπυλωτή διάταξη πρέπει να είναι αρκετά μήκη κύματος σε μήκος για να παρουσιάσει "σφηνοειδή" κατευθυντικά χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΙΑ LINE ARRAY

Εισαγωγή

Όπως παρατηρήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο ο Olson μελέτησε διάφορα είδη line sources και θεωρητικά συμπεράνε ότι εφόσον σε μία ευθεία γραμμική πηγή ο αριθμός των στοιχείων πλησιάζει το άπειρο ($N \rightarrow \infty$) και η απόσταση μεταξύ των στοιχείων πλησιάζει το μηδέν ($b \rightarrow 0$), θα δημιουργηθεί ένα κυλινδρικό κύμα. Έτσι παρέχεται πολύ κατευθυντική κάθετη κάλυψη και η εξασθένηση της έντασης ανά διπλασιασμό της απόστασης θα είναι 3dB SPL αντί για 6dB SPL που ισχύει για το σφαιρικό κύμα.

Το αποτέλεσμα αυτής της κατευθυντικής κάλυψης έχει πολύ ενδιαφέρον γιατί βασιζόμενες σε αυτή τη θεωρία στηρίχτηκαν πολλές εταιρίες ηχητικών εξοπλισμών για να φτιάξουν ένα καινούργιο ηχητικό σύστημα διαφορετικής λειτουργίας. Όμως το μοντέλο του line source array είναι καθαρά θεωρητικό και δεν μπορεί να υλοποιηθεί λόγω πρακτικών και φυσικών περιορισμών. Σε οποιοδήποτε ηχητικό σύστημα είτε φορητό είτε σταθερό, δεν είναι εφικτό να υπάρχουν άπειρα ηχεία και αυτά, λόγω των φυσικών διαστάσεών τους, δεν μπορούν να έρθουν σε μηδενική απόσταση μεταξύ τους. Οπότε οι εταιρίες απορρίπτουν την υλοποίηση του line source array και σε πιο πρακτική προσέγγιση διαμορφώνουν τη θεωρία του line array. Line array ονομάζεται μία διάταξη από ηχεία τοποθετημένα σε μια ευθεία γραμμή και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, τα οποία εκπέμπουν με το ίδιο πλάτος (ηχητική ένταση) και σε φάση. Δεν ισχύουν οι κανόνες απείρου μήκους και μηδενικής απόστασης αλλά υπάρχουν κανόνες και περιορισμοί ώστε ένα line array να πλησιάζει το θεωρητικό μοντέλο του Olson.

3.1 Κατευθυντικότητα Line Array

Γενικά η κατευθυντικότητα ενός μεγαφώνου καθορίζεται από την εντασιακή απόκριση καθώς αλλάζει η γωνία παρατήρησης. Η κατευθυντικότητα ενός μεγαφώνου είναι διαφορετική για κάθε συχνότητα. Ένα αξιόπιστο line array σύστημα είτε φορητό είτε σταθερά εγκατεστημένο έχει καθαρή αναπαραγωγή του ήχου με την ίδια πιστότητα και μικρή απόκλιση έντασης σε όλο τον χώρο του ακροατηρίου.

Κατά τη συνήχηση δύο ηχητικών πηγών σε ένα χώρο παρατήρησης μπορούν να δημιουργηθούν εποικοδομητικές και καταστρεπτικές συμβολές. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται comb filtering. Ένα line array αποτελείται από μία συστοιχία μεγαφώνων συγκεκριμένα απομακρυσμένα μεταξύ τους και με τέτοια κλίση σε ανάλογες περιπτώσεις, έτσι ώστε κατά την εκπομπή τους να προκαλούνται εποικοδομητικές συμβολές στην on-axis περιοχή (που βρίσκεται το ακροατήριο) και καταστρεπτικές συμβολές στα άκρα (έξω απ' την επιθυμητή περιοχή του ακροατηρίου). Αυτό επιτυγχάνεται εξαιτίας του comb filtering και παρόλο που στις περισσότερες περιπτώσεις της φυσικής ακουστικής αναφέρεται ως ανεπιθύμητο, στην περίπτωση των line array προκαλείται επιθυμητά. Λόγω της κατευθυντικής κάθετης κάλυψης είναι πολύ αποτελεσματικό σε εφαρμογές όπου ο ήχος πρέπει να φτάσει σε μακρινές και γεωμετρικά επιλεγμένες αποστάσεις.

3.2 Κανόνες Line Array

Οι παρακάτω κανόνες οριοθετούν τα πλαίσια της λειτουργίας ενός line array συστήματος σαν μία ενιαία πηγή. Οι τρεις πρώτοι (1,2,3) αναφέρονται στην κατασκευή και οι υπόλοιποι (4,5 και 6) στην εγκατάσταση.

1) Ο Olson είχε υπολογίσει ότι δύο σημειακές πηγές οι οποίες απέχουν λιγότερο από το $\frac{1}{4}$ του μήκους κύματος που εκπέμπουν, δημιουργούν ένα ομοιόμορφο πολικό διάγραμμα χωρίς λοβούς. Μέχρι και για απόσταση του $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος που εκπέμπεται, το πολικό διάγραμμα θα είναι ομοιόμορφο καθώς και πιο στενό. Αν η απόσταση υπερβεί το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος τότε αρχίζουν να δημιουργούνται πλευρικοί λοβοί λόγω καταστρεπτικών συμβολών (βλ. Σχήμα 1.4). Από εκεί προκύπτει ένας κανόνας: Για να λειτουργεί με βάση τη θεωρία του Olson ένα line array σύστημα σ' ένα συγκεκριμένο συχνοτικό φάσμα, η απόσταση μεταξύ των ακουστικών κέντρων δύο γειτονικών οδηγών πρέπει να είναι μικρότερη από το μισό του μήκους κύματος της μέγιστης συχνότητας που εκπέμπουν αυτές οι πηγές. Εάν αυτή η απόσταση οριστεί ως **b**, τότε μπορεί να τεθεί ο πρώτος κανόνας που λέει ότι: $b < \lambda_{\min}/2$. Όπου λ_{\min} το μήκος κύματος που αντιστοιχεί για την f_{\max} που εκπέμπει ο οδηγός του συστήματος. Για ένα line array αυτός είναι και ο κανόνας που οριοθετεί την υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να εκπέμψει όλο το σύστημα βάση της θεωρίας του Olson.

2) Το συνολικό μήκος μίας συστοιχίας line array πρέπει να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερο του μήκους κύματος της χαμηλότερης συχνότητας που εκπέμπει η συστοιχία. Δηλαδή αν τεθεί ότι **H**=συνολικό μήκος συστοιχίας, πρέπει $H > 4\lambda_{\max}$ όπου λ_{\max} το μήκος κύματος για τη χαμηλότερη συχνότητα που εκπέμπεται. Αυτός είναι ο δεύτερος κανόνας και οριοθετεί τη χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να ακτινοβολήσει το line array ώστε να λειτουργεί σωστά βάση της θεωρίας του Olson.

3) ¹ Η απόκλιση που μπορεί να έχει μία συστοιχία από ένα επίπεδο ηχητικό μέτωπο (καμπύλωση) πρέπει να είναι λιγότερο του $\lambda/4$ της υψηλότερης συχνότητας λειτουργίας. Θέτοντας αυτή την απόσταση ίση με **x** πρέπει $x < \lambda_{\min}/4$. Αυτό αντιστοιχεί σε λιγότερο από 5mm καμπύλωσης στα 16 kHz.

4) Κανόνας 4:1, η απόσταση από το κάτω άκρο της συστοιχίας έως τον πρώτο ακροατή, πρέπει να είναι το $\frac{1}{4}$ της απόστασης από το πάνω άκρο, έως τον τελευταίο ακροατή.

5) Η συνολική επιφάνεια της κυματομορφής που ακτινοβολεί κάθε πηγή μεμονωμένα, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το 80% της επιφάνειας του ακροατηρίου όπου στοχεύει.

6) Για καμπυλωτά line arrays, οι γωνίες που καθορίζουν την θέση των καμπινών πρέπει να κυμαίνονται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από τους ακροατές.

¹ Κατερίνα Παναγοπούλου “Ηχητική κάλυψη Συναυλιών” κεφάλαιο 12 , σελ 129

3.3 Από τη θεωρία στην πράξη

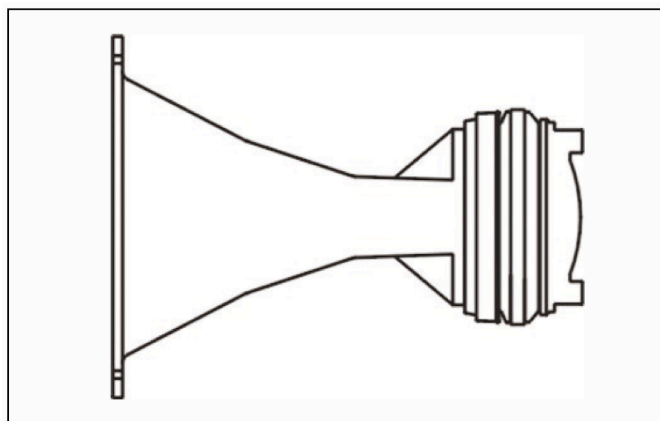
Κατά την εφαρμογή των παραπάνω κανόνων μπορούν να προκύψουν προβλήματα είτε στην υλοποίηση ενός συστήματος line array, είτε στην τοποθέτησή του. Πριν γίνει επιμέρους αναφορά στους κανόνες πρέπει να γίνει γνωστό ότι παρόλο που μία συστοιχία line array λειτουργεί σαν ενιαία πηγή, κάθε οδηγός του συστήματος εκπέμπει συγκεκριμένο συχνοτικό φάσμα. Το συχνοτικό φάσμα διαιρείται με crossovers προσφέροντας ένα σύστημα τριών ή τεσσάρων δρόμων και τα crossover points ορίζονται ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα για το οποίο θα γίνει αναφορά παρακάτω. Επίσης να επαναληφθεί ότι οι τρεις πρώτοι κανόνες αφορούν τη κατασκευή του συστήματος ενώ οι υπόλοιποι τρεις την τοποθέτηση και εγκατάσταση του.

Κανόνας 1

Ο κανόνας 1 λέει πως πρέπει: $b < \lambda_{\min}/2$. Παρ' όλα αυτά η εφαρμογή αυτή της θεωρίας σε ένα ηχητικό σύστημα που θα εκπέμπει όλο το ακουστικό συχνοτικό φάσμα είναι πολύ δύσκολη. Πιο συγκεκριμένα το μήκος κύματος των 20kHz αντιστοιχεί σε 17mm και $\lambda/2=8,5\text{mm}$. Οπότε για να λειτουργήσει ένα σύστημα σε όλο το ακουστικό συχνοτικό φάσμα σωστά βάση της θεωρίας του Olson, πρέπει τα κέντρα των οδηγών να έχουν απόσταση ίση με 8,5mm. Όμως η κατασκευή τόσο μικρών και τόσο πολλών οδηγών είναι κάτι ανέφικτο. Η λύση που δόθηκε στο παραπάνω πρόβλημα ήταν η χρήση κυματοδηγών χοάνης, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την κατευθυντικότητα ενός εκπεμπόμενου ηχητικού κύματος. Συμπερασματικά λοιπόν ο πρώτος κανόνας δεν μπορεί να επιτευχθεί για όλο το συχνοτικό φάσμα και ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες.

3.3.1 Κυματοδηγός χοάνης

Στα πρώτα βήματα των ηχητικών συστημάτων η χοάνη ήταν πολύ αποτελεσματική κατασκευή όσον αφορά την ηχητική ενίσχυση, καθώς «αντικαθιστούσε» μέρος της ενίσχυσης του σήματος των τελικών ενισχυτών. Στην περίπτωση των line arrays αυτό που έχει περισσότερη σημασία είναι η κατευθυντικότητα. Η κατευθυντικότητα της χοάνης εξαρτάται από το μήκος, το άνοιγμα και το σχήμα της, καθώς επίσης από τις διαμέτρους του στομίου και του ανοίγματος της. Όταν το μήκος κύματος εκπομπής είναι μεγαλύτερο της διαμέτρου του διαφράγματος τότε το στόμιο παίζει σημαντικό ρόλο στην κατευθυντικότητα της χοάνης. Η χοάνη παίζει ρόλο στην κατευθυντικότητα όταν το μήκος κύματος που εκπέμπεται είναι μικρότερο από τη διάμετρο του στομίου.

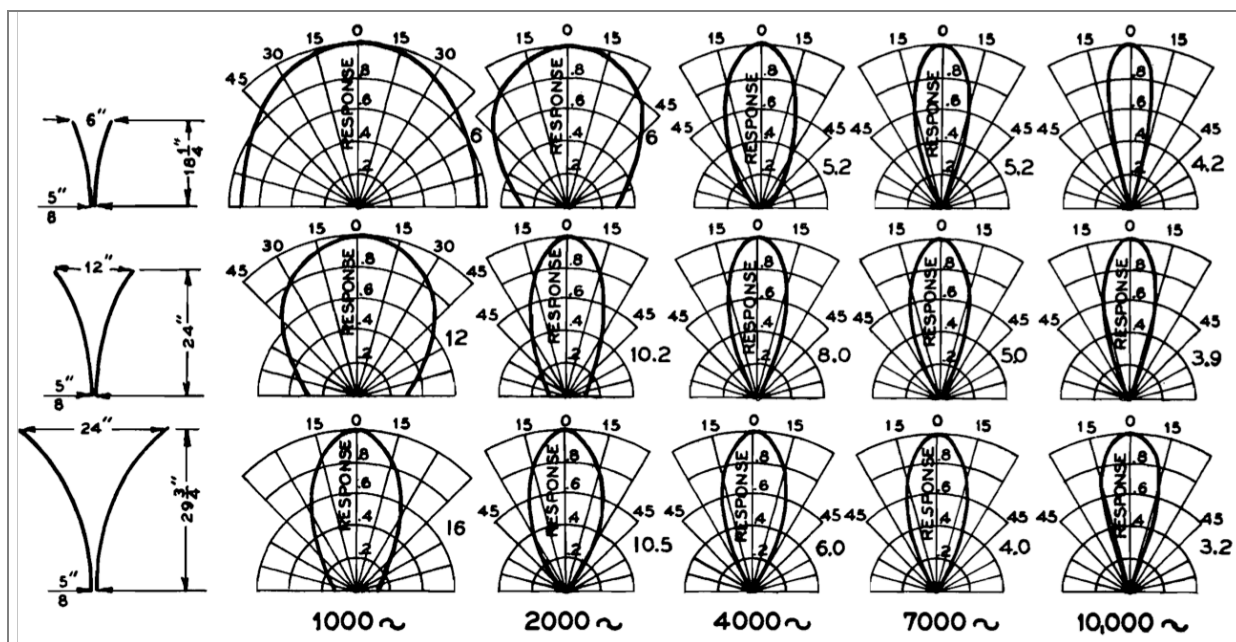


Σχήμα 3.1: Χοάνη τοποθετημένη πάνω σε ένα οδηγό συμπίεσης με διάμετρο ανοίγματος $D=23,5\text{cm}$.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κλίσης της χοάνης που προσφέρουν διαφορετικά χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας και θα γίνει αναφορά σε τρεις περιπτώσεις, εκθετική, κωνική και παραβολική κλίση. Στην περίπτωση εκθετικής κλίσης, όσο αυξάνεται η διάμετρος του ανοίγματος της χοάνης αυξάνεται και το μήκος της, καθώς η διάμετρος του στομίου μένει σταθερή. Στην περίπτωση της κωνικής κλίσης και οι δύο διαμέτροι μένουν ίδιες ενώ αυξάνεται το μήκος της χοάνης. Τέλος στην περίπτωση της παραβολικής κλίσης πάλι αυξάνεται μόνο το μήκος της χοάνης και η κατευθυντικότητα αλλάζει λόγω της κλίσης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 το μικρό μέγεθος της εκθετικής χοάνης προκαλεί στενή κατευθυντικότητα στο 1 kHz ενώ στα 10kHz η κατευθυντικότητα είναι πιο διευρυμένη απ' τις άλλες δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση Γ παρατηρείται αρκετή κατευθυντικότητα στο 1kHz η οποία στα 10kHz αυξάνεται λιγότερο απ' ότι στην περίπτωση Α. Η κλίση της χοάνης είναι αντιστρόφως ανάλογη της κατευθυντικότητας για υψηλές συχνότητες ενώ είναι ανάλογη της για πιο χαμηλές.

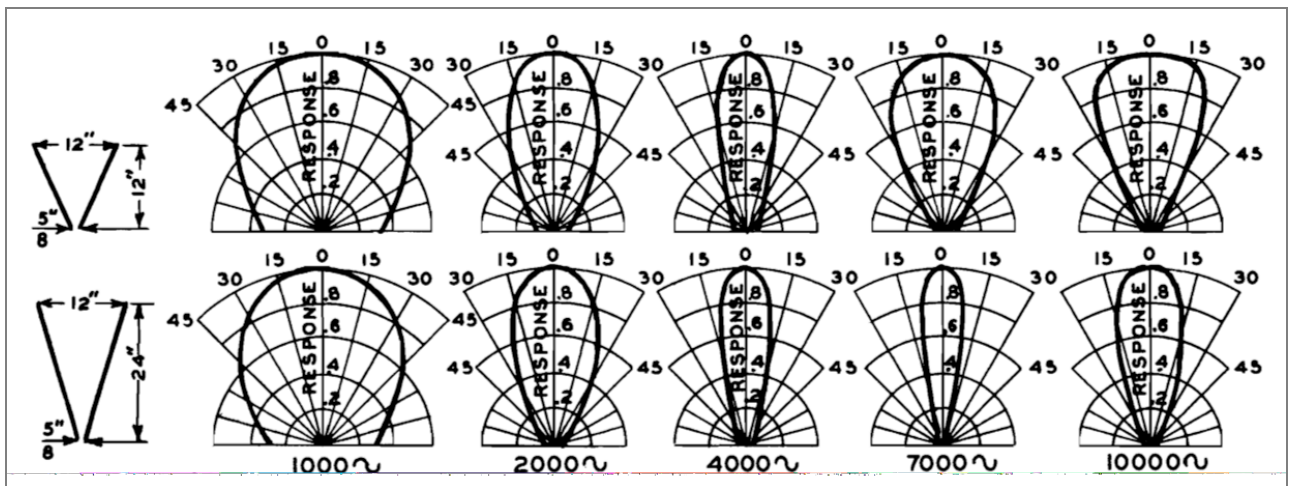
Στο σχήμα 3.3 που δείχνει τον τρόπο που επηρεάζεται η κατευθυντικότητα ενός ηχητικού κύματος από μια κωνική χοάνη, παρατηρείται ότι η κατευθυντικότητα αρχίζει να επηρεάζεται στα 4kHz και μετά. Αυτό σημαίνει ότι για υψηλές συχνότητες η κατευθυντικότητα είναι ανάλογη του μήκους της χοάνης. Επίσης όσο μεγαλώνει το μήκος της χοάνης, αυξάνεται και η κατευθυντικότητα.



Σχήμα 3.2: Κατευθυντικότητα χοάνης με εκθετική γωνία κλίσης τριών διαστάσεων για 1kHz, 2kHz, 4kHz, 7kHz και 10kHz.

- Α) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 15cm, μήκος χοάνης 46cm
- Β) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 60cm
- Γ) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 60cm, μήκος χοάνης 76cm

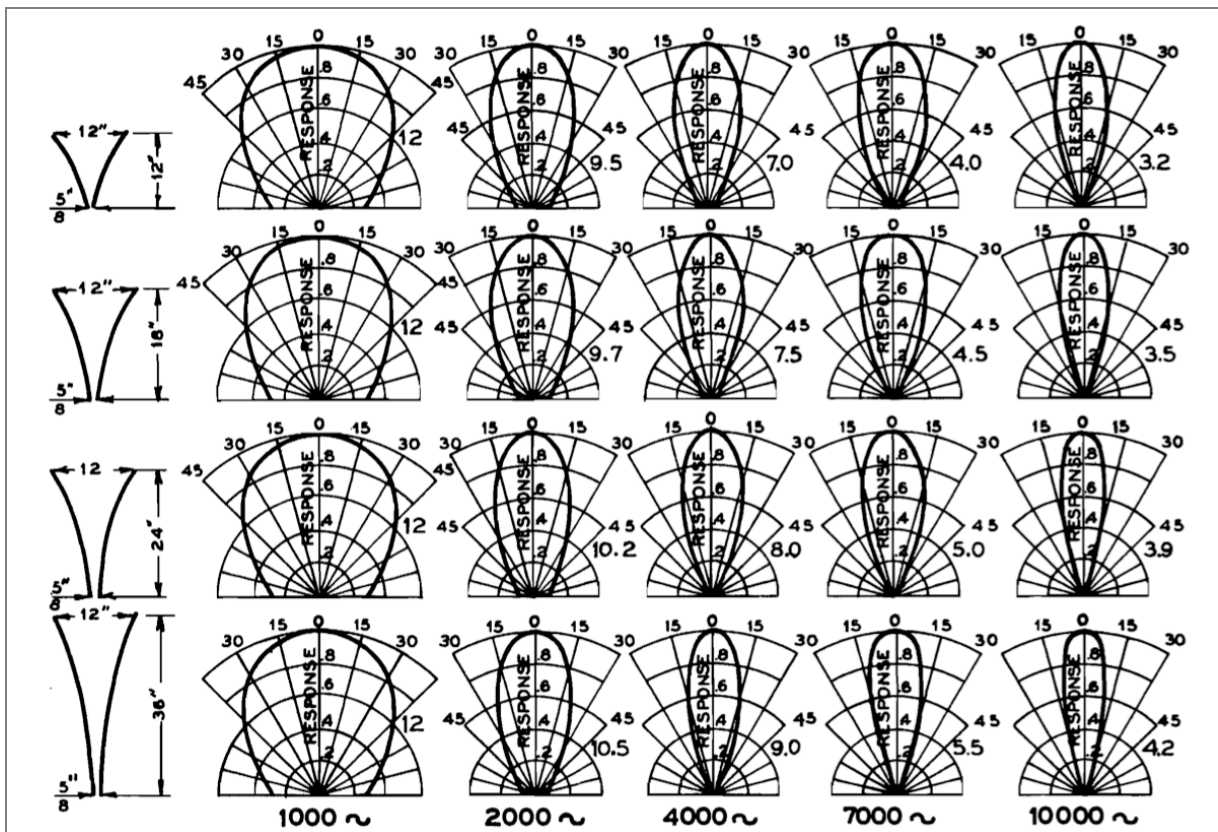
Στο σχήμα 3.4 φαίνεται πως επηρεάζεται η κατευθυντικότητα ενός ηχητικού κύματος από μία χοάνη παραβολικής κλίσης. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα αυξάνεται και η κατευθυντικότητα του ηχητικού κύματος. Επιπλέον καθώς η διάμετρος του στομίου και του ανοίγματος μένουν ίδιες, το μόνο μέγεθος που αφορά τη χοάνη και που επηρεάζει την κατευθυντικότητα είναι το μήκος της και όσο αυτό αυξάνεται, κατά ένα μικρό αλλά αντιληπτό βαθμό, στενεύει και η κατευθυντικότητα.



Σχήμα 3.3: Κατευθυντικότητα κωνικής χοάνης δύο μεγεθών για 1kHz, 2kHz, 4kHz, 7kHz και 10kHz.

A) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 30cm

B) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 60cm



Σχήμα 3.4: Κατευθυντικότητα χοάνης με παραβολική γωνία κλίσης τεσσάρων μεγεθών μήκους για 1kHz, 2kHz, 4kHz, 7kHz και 10kHz.

A) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 30cm

B) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 46cm

Γ) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 61cm

Δ) Διάμετρος στομίου 1.6cm, διάμετρος ανοίγματος 30cm, μήκος χοάνης 91cm

Το γενικό συμπέρασμα από τη μελέτη της χοάνης είναι ότι ανάλογα με τις διαστάσεις της, προκαλεί μία ανάλογη κατευθυντικότητα διαφορετική από την αρχική της σφαιρικής πηγής και ιδιαίτερα κατευθυντική στις υψηλές συχνότητες. Αυτός είναι και ένας εναλλακτικός τρόπος επίλυσης, για τις συχνότητες στις οποίες δεν μπορεί να εφαρμοστεί ο πρώτος κανόνας, δηλαδή να επηρεάζουν την κατευθυντικότητα με τη χρήση της χοάνης καταλήγοντας έτσι σε υβριδικά συστήματα.

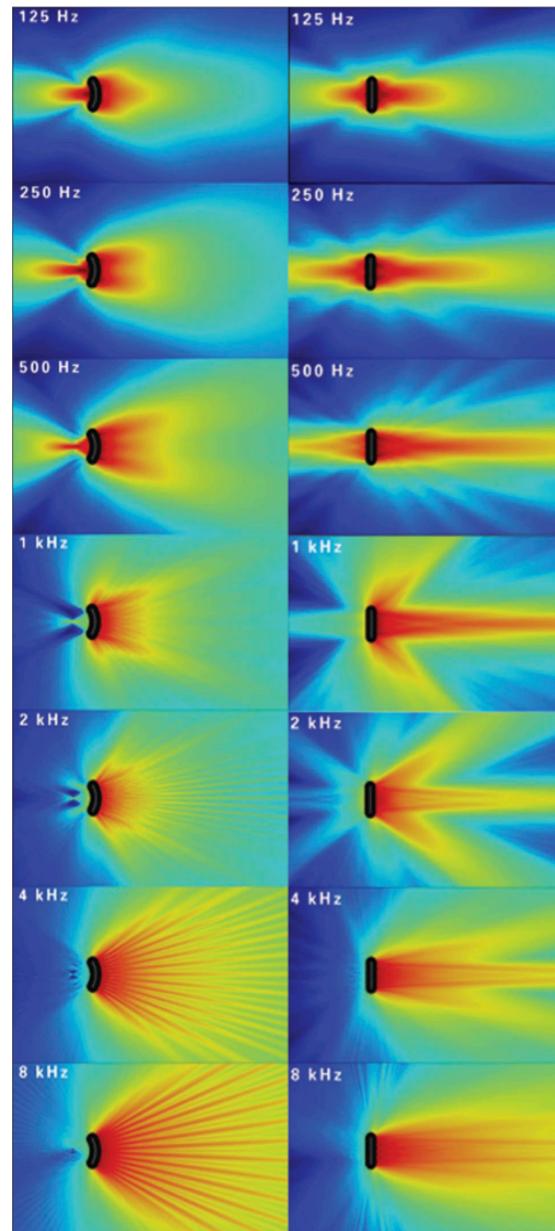
Κανόνας 2

Ο δεύτερος κανόνας ορίζει πως το συνολικό μήκος μίας συστοιχίας line array πρέπει να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το μήκος κύματος της χαμηλότερης συχνότητας που ακτινοβολεί αυτή η συστοιχία, δηλαδή πρέπει $H > 4\lambda_{\max}$. Το μήκος κύματος των 20Hz είναι 17,2m. Αυτό σημαίνει πως μία συστοιχία που θα εκπέμπει σωστά, βάση της θεωρίας του Olson, σε όλο το συχνοτικό φάσμα πρέπει να έχει μήκος $4 \times 17,2m = 68,8m$. Έστω αν ήταν δυνατή η υλοποίηση μίας τέτοιας κατασκευής, δεν είναι καθόλου πρακτική όσον αφορά την τοποθέτηση και τη μεταφορά ως προς τους χώρους εφαρμογής. Έτσι λοιπόν το πόρισμα είναι πως ένα line array σύστημα στις χαμηλές συχνότητες, λόγω φυσικών διαστάσεων, δεν μπορεί να λειτουργήσει σαν line source και η χαμηλότερη συχνότητα που ακτινοβολεί κυλινδρικά εξαρτάται κάθε φορά από το μήκος της συστοιχίας.

Κανόνας 3

Υπάρχουν συστήματα που είναι κατασκευασμένα για flat τοποθέτηση και άλλα που είναι για curved. Σε γενικά πλαίσια η ελαφριά καμπύλωση μίας συστοιχίας line array μπορεί να διευρύνει την κάθετη κάλυψη του συστήματος. Παρόλα αυτά η υπερβολική προκαλεί προβλήματα.

Όμως όσον αφορά την καμπύλωση και τον τρόπο που επηρεάζεται η κατευθυντικότητα των line arrays μέσω αυτής υπάρχει ένα πείραμα που πραγματοποιεί η Meyer Sound (κατασκευαστική εταιρία) και αποσαφηνίζει, κάνοντας τις απαραίτητες μετρήσεις, το τι συμβαίνει.



Σχήμα 3.5: Στ' αριστερά φαίνεται η κατευθυντικότητα ενός curved και στα δεξιά ενός flat line array. Τα συστήματα χρησιμοποιούνε μία χοάνη κάθετης κάλυψης 45°.

Στο σχήμα 3.5, αριστερά φαίνεται η απόκριση ενός flat line array συστήματος το οποίο έχει τοποθετηθεί καμπυλωτά και δεξιά φαίνεται η απόκριση ενός curved line array συστήματος το οποίο έχει τοποθετηθεί flat. Δύο συστοιχίες που έχουν πανομοιότυπα μεγάφωνα όπου κάθε ένα αποτελείται από ένα 12" κωνικό οδηγό χαμηλών συχνοτήτων και μία χοάνη υψηλών συχνοτήτων κάθετης κάλυψης 45°.

Στο σχήμα 3.5 αριστερά φαίνεται πως απ' τα 125Hz μέχρι και το 1kHz, το σύστημα διατηρεί μία αρκετά στενή κατευθυντικότητα που είναι επιθυμητή για τη λειτουργία του line array. Απ' το 1kHz και πάνω αρχίζουν να εμφανίζονται πλευρικοί λοβοί. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται μία ανομοιογενής εντασιακή κάλυψη και το φαινόμενο αυτό γίνεται εντονότερο όσο αυξάνεται η συχνότητα.

Στο σχήμα 3.5 δεξιά φαίνεται πως οι κόρνες ευρείας κάλυψης είναι κατασκευασμένες για curved line array σύστημα, εάν τοποθετηθούν flat, δεν αποδίδουν αποτελεσματικά. Στις χαμηλές συχνότητες το σύστημα διατηρεί πολύ στενή κατευθυντικότητα και απ' το 1kHz και πάνω εμφανίζονται έντονοι πλευρικοί λοβοί. Αυτοί οι λοβοί καθώς συσσωρεύουν μεγάλο κομμάτι της συνολικής ενέργειας πλευρικά, προκαλούνται ανεπιθύμητες ανακλάσεις που μειώνουν τη διαύγεια του συστήματος.

Είναι φανερό από το προηγούμενο πείραμα ότι, πρώτον εφόσον οι οδηγοί των υψηλών συχνοτήτων έχουν στενή κάθετη κάλυψη, η υπερβολική καμπύλωση θα προκαλέσει σημεία με υψηλή ένταση και σημεία με πολύ χαμηλή.

Δεύτερον η καμπύλωση δεν επηρεάζει μεγάλα μήκη κύματος οπότε οι χαμηλές συχνότητες δεν επηρεάζονται από την κλίση. Αυτό σημαίνει ότι διατηρούν τη σχετική κατευθυντικότητα που μπορεί να έχουν ανά συχνότητα.

Γενικότερα η υπερβολική καμπύλωση σε οποιοδήποτε line array σύστημα παρουσιάζει προβλήματα. Οποιοδήποτε, λοιπόν, σύστημα, με λάθος τοποθέτηση εξασφαλίζει ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Η τοποθέτηση και τα χαρακτηριστικά του κατασκευαστή πρέπει να συμβαδίζουν.

Κανόνες 4 και 5

Ο τέταρτος και πέμπτος κανόνας αφορούν την τοποθέτηση του line array συστήματος και εξαρτώνται απ' το περιβάλλον εγκατάστασης. Γενικά σε ένα χώρο που πρόκειται να πραγματωθεί μία εκδήλωση, το κοινό πρέπει να κατανεμηθεί έτσι ώστε οι απαιτούμενες αποστάσεις στο χώρο ακρόασης να τηρούν τον 4^ο κανόνα (όσον αφορά τις αποστάσεις που αναφέρονται σε αυτόν). Η συνολική καμπύλωση και τοποθέτηση της συστοιχίας αλλά και κάθε καμπίνας πρέπει να γίνονται έτσι ώστε να τηρείται ο πέμπτος κανόνας. Σε πολλές όμως περιπτώσεις λόγω της ιδιαιτερότητας των συναυλιών χώρων υπάρχει αδυναμία τήρησης των κανόνων αυτών. Ο sound designer καλείται να επιφέρει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και όσο πληρέστερη και ορθότερη τοποθέτηση του συστήματος με βάση τους κανόνες αυτούς.

Κανόνας 6

Ο 6^{ος} κανόνας επίσης αφορά τον τρόπο τοποθέτησης του line array συστήματος σε περίπτωση που τοποθετηθεί αναρτημένο. Ουσιαστικά, αναλόγως με την απόσταση του ακροατηρίου από το σύστημα, καθορίζεται η θέση και καμπύλωση των καμπινών. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μακριά θα είναι το line array σύστημα απ' το ακροατήριο, τόσο λιγότερη θα είναι η καμπύλωση των καμπινών των συστοιχιών.

3.4 Επιπλέον Στόχοι Κατασκευαστών

Πέρα από τους κανόνες που αφορούν τη σωστή κατασκευή και τοποθέτηση ενός line array συστήματος, υπάρχουν και κάποιοι επιπλέον στόχοι των κατασκευαστριών εταιριών:

- 1^{ov} Το μικρότερο σε μέγεθος και βάρος σύστημα, αναλογικά της ισχύος του.
- 2^{ov} Εύχρηστο, γρήγορο και αξιόπιστο σύστημα ανάρτησης δορυφόρων.
- 3^{ov} Απλή, γρήγορη και αξιόπιστη συνδεσμολογία/καλωδίωση και ροή του σήματος.
- 4^{ov} Αξονική συμμετρία ώστε οι συστοιχίες να λειτουργούν πανομοιότυπα.
- 5^{ov} Κάλυψη όλου του συχνотικού εύρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΧΗΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ LINE ARRAY

4.1 Εντασιακή Κάλυψη

Η εντασιακή κάλυψη ενός line array εξαρτάται από το σύστημα και το χώρο που διατίθεται. Επιτυχής εντασιακή κάλυψη σημαίνει ότι από τις πρώτες θέσεις του ακροατηρίου έως και τις τελευταίες, πραγματοποιείται η ελάχιστη δυνατή μείωση της έντασης. Μία σωστή τοποθέτηση του κατάλληλου συστήματος για τον εκάστοτε χώρο μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα.

Για να γίνει κατανοητό γιατί τα line array συστήματα καλύπτουν ομοιόμορφα εντασιακά έναν χώρο στον οποίο τοποθετούνται πρέπει να αναφερθεί ο τρόπος που καλύπτεται εντασιακά ένα ακροατήριο με ένα συμβατικό σύστημα, δηλαδή ένα σύστημα που για την απόδοση των υψηλών συχνοτήτων χρησιμοποιεί οδηγούς συμπίεσης (compression drivers) ενσωματωμένους σε κυματοδηγούς χοάνης. Τα ηχεία αυτά βασικά είναι κατασκευασμένα για ν' ακτινοβολούν σε $60^\circ \times 40^\circ$ ή $90^\circ \times 60^\circ$ σε οριζόντιο και κάθετο άξονα αντίστοιχα. Φυσικά υπάρχουν και άλλες μοίρες λειτουργίας που μπορεί να προτιμάει κάποιος κατασκευαστής. Στην περίπτωση που ένας σχετικά μικρός χώρος πρέπει να καλυφθεί με ένα συμβατικό σύστημα, η εντασιακή κάλυψη επιτυγχάνεται τοποθετώντας την χοάνη να στοχεύει με το κέντρο της στη πίσω σειρά του κοινού και το κάτω άκρο της στη πρώτη σειρά των ακροατών. Με αυτή την κλίση και με μία τοποθέτηση αρκετά ψηλά μπορεί η απόσταση της χοάνης απ' τη μπροστινή σειρά να είναι η μισή της απόστασης από την τελευταία σειρά. Με αυτόν τον τρόπο η διασπορά της χοάνης μπορεί να καλύψει την απώλεια έντασης που δημιουργείται απ' την απόσταση μεταξύ των δύο άκρων του κοινού.

Ένα line array έχει πολύ δυνατώτερη εντασιακή απόδοση από ένα μεμονωμένο συμβατικό ηχείο. Επίσης διαμορφώνοντας την καμπυλότητα της συστοιχίας σε διάφορες θέσεις δίνεται μία πληθώρα επιλογών κάθετης κατευθυντικότητας που μπορεί να εξυπηρετεί στον εκάστοτε χώρο. Οπότε με την ίδια λογική που κάποτε ένα μονάχα συμβατικό ηχείο με την κατάλληλη τοποθέτηση και στόχευση της χοάνης μπορούσε να καλύψει ομοιόμορφα εντασιακά ένα μικρό χώρο, έτσι με την σωστή καμπύλωση ενός line array συστήματος επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή έντασης σε κάθε χώρο.

4.2 dB και line array

Η θεωρητική απόδοση (σε dB) ενός line array δεν είναι ίδια για όλες τις θέσεις μέσα στο πεδίο που εκπέμπει. Συγκεκριμένα χωρίζεται σε δύο πεδία: Το ένα είναι το κοντινό πεδίο όπου η ένταση μειώνεται κατά 3dB ανά διπλασιασμό της απόστασης και το άλλο είναι το μακρινό πεδίο όπου η ένταση μειώνεται κατά 6dB ανά διπλασιασμό της απόστασης. Το μεταβατικό σημείο στο οποίο γίνεται αυτή η αλλαγή συνήθως (και παρεξηγήσιμα*) ονομάζεται κρίσιμη απόσταση και εξαρτάται από το μήκος της συστοιχίας και από τη συχνότητα.

** Η κρίσιμη απόσταση στην αρχιτεκτονική ακουστική αναφέρεται επίσης ως το σημείο στο οποίο ο direct με τον ανακλώμενο ήχο έχουν την ίδια ένταση.*

Συγκεκριμένα ισχύει ο τύπος:

$$r = (H^2 \times f) / 690$$

όπου,

r : το σημείο διαχωρισμού των δύο πεδίων (κρίσιμη απόσταση)

H : το μήκος της συστοιχίας

f : η συχνότητα

Μελετώντας τον τύπο φαίνεται πως όσο αυξάνεται το μήκος της συστοιχίας τόσο μεγαλώνει η κρίσιμη απόσταση ενώ μικραίνει για μεγάλα μήκη κύματος.

Δηλαδή βάση του παραπάνω τύπου για τις χαμηλές συχνότητες η κρίσιμη απόσταση είναι πιο μικρή. Από εδώ προκύπτει ότι στις μακρινές αποστάσεις υπάρχει απώλεια στις χαμηλές συχνότητες και υπερισχύουν οι υψηλές. Όμως οι υψηλές συχνότητες φέρουν λιγότερη ενέργεια από τις χαμηλές και λόγω της απορρόφησης του αέρα προκύπτει το αντίθετο.

Η εξάρτηση της κρίσιμης απόστασης από το μήκος της συστοιχίας δηλώνει πως κάθε line array έχει διαφορετική κρίσιμη απόσταση. Επίσης λόγω της συνάρτησης της συχνότητας, αυτή η απόσταση δεν μπορεί να είναι μία για όλο το συχνοτικό εύρος και ούτε είναι αποτελεσματικό να υπολογίζεται για κάθε συχνότητα ο διαχωρισμός του κοντινού απ' το μακρινό πεδίο.

4.3 Εντασιακή απόκριση στο κοντινό πεδίο

Εφόσον πρακτικά για ένα line array σύστημα δεν ισχύει η θεωρία της εκπομπής κυλινδρικού κύματος σε όλο το συχνοτικό φάσμα, συνεπάγεται πως και η εξασθένιση 3dB ανά διπλασιασμό της απόστασης δεν είναι απολύτως εφικτή. Οι συνθήκες της μηδενικής απόστασης των απολύτως πανκατευθυντικών πηγών και το άπειρο μήκος της συστοιχίας δεν είναι εφαρμόσιμα σε ένα πρακτικό περιβάλλον που τα πράγματα γίνονται πιο σύνθετα. Η Meyer Sound (κατασκευαστική εταιρία) έχει αποδείξει υπολογιστικά πως ένα line array που θα ακολουθεί τη θεωρία για τις χαμηλές συχνότητες, μπορεί να κατασκευαστεί, αλλά χρειάζεται πάνω από 1000 οδηγούς woofer 15" σε μεταξύ τους απόσταση (κέντρο-κέντρο) 50cm.

Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί όντως να έχει μείωση 3dB στο κοντινό πεδίο. Όμως αυτό δεν συμβαίνει για όλες τις συχνότητες. Στον παρακάτω πίνακα (σχήμα 4.1) φαίνεται η απόσβεση σε συνάρτηση με τη συχνότητα και την απόσταση για μία συστοιχία 100 οδηγών 1" σε μεταξύ τους απόσταση 1" (λειτουργία Bessel). Επίσης έχει υπολογιστεί και η απορρόφηση του αέρα με σχετική υγρασία 11% και θερμοκρασία 20°C.

	2 meters	4 meters	8 meters	16 meters	32 meters	64 meters	128 meters	256 meters
125 Hz	0	5.5	11	17	23	29	35	41
250 Hz	0	5	11	17	23	29	35	41
500 Hz	0	2.3	7.2	13	19	25	31	37
w/air absorption								38
1 kHz	0	1.3	3.2	8.2	14	20	26	32
w/air absorption					15	21	28	35
2 kHz	0	3	5.2	7	12	18	24	30
w/air absorption				8	13	21	29	41
4 kHz	0	2.7	6.3	9	11	16	21	27
w/air absorption		3.1	7.1	11	14	23	35	59
8 kHz	0	2.8	5	8.6	11	13	18	24
w/air absorption		3.5	6	12	17	25	42	72
16 kHz	0	3.1	6.6	8.2	12	14	16	21
w/air absorption		4.1	8.6	12	20	33	49	88
3 dB per doubling	0	3	6	9	12	15	18	21
6 dB per doubling	0	6	12	18	24	30	36	42

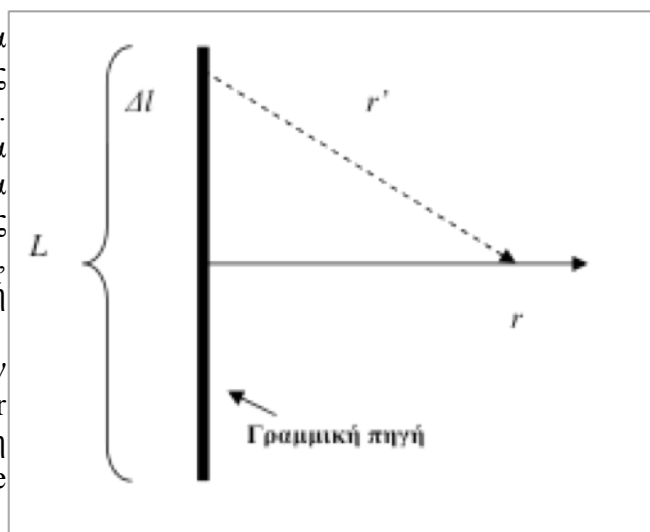
Σχήμα 4.1: Εντασιακή απόσβεση ανά διπλασιασμό της απόστασης σε διάφορες οκτάβες. Από συστοιχία line array 100 μεγαφώνων 1" σε μεταξύ τους απόσταση 1".

4.4 Συχνοτική Κάλυψη

Γενικά τα line array στοχεύουν σε μία συχνοτικά flat απόκριση σε όλες τις θέσεις κατά μήκος και πλάτος του ακροατηρίου. Επειδή όμως η κάθετη κατευθυντικότητα των συστοιχιών αλλά και η απώλεια έντασης ανά διπλασιασμό της απόστασης εξαρτώνται από τη συχνότητα εκπομπής, παρακάτω γίνεται αναλυτική η συχνοτική συμπεριφορά των line array.

Παρόλο που δεν αντιπροσωπεύει την λειτουργία του line array στο near και far field, θα γίνει μία γρήγορη επισκόπηση στην on-axis απόκριση μίας line source συστοιχίας.

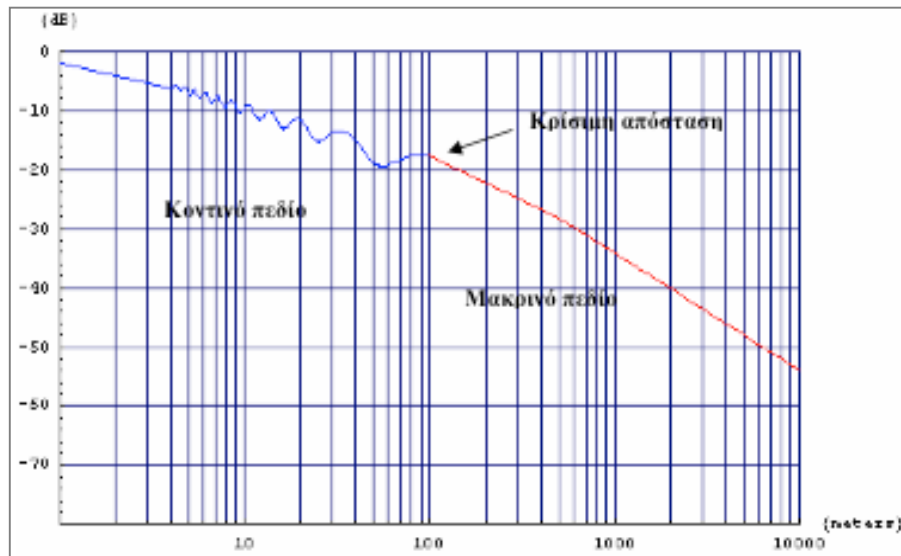
Στο διπλανό σχήμα (σχήμα 4.2) φαίνεται ένα line source συνολικού μήκους L . Με r' συμβολίζεται η απόσταση μεταξύ Δl (ένα στοιχείο απ' όλη την πηγή)



Σχήμα 4.2: Γεωμετρική κατασκευή για τον υπολογισμό της on-axis ηχητικής πίεσης μίας γραμμικής πηγής (line source).

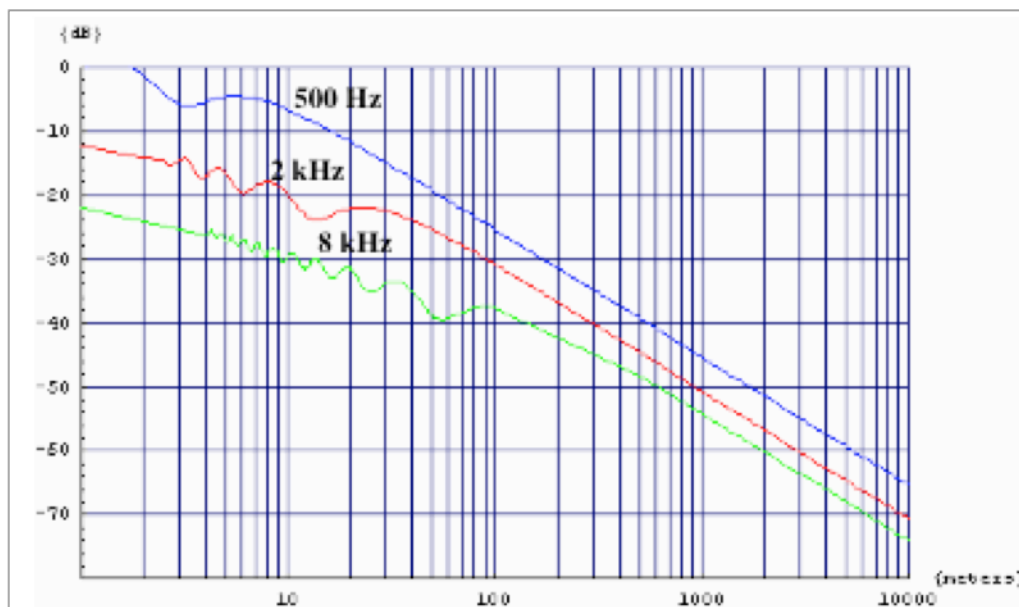
και του r (ένα σημείο πάνω στην ευθεία γραμμή).

Στο σχήμα 4.3 φαίνεται πως η ηχητική πίεση πέφτει καθώς αυξάνεται η απόσταση από τη γραμμική πηγή. Στον άξονα των x είναι τα μέτρα (m) και στον άξονα των y η ηχητική πίεση (dB). Η μέτρηση έγινε στα 8kHz, συχνότητα για την οποία η κρίσιμη απόσταση βρίσκεται στα 100 μέτρα.

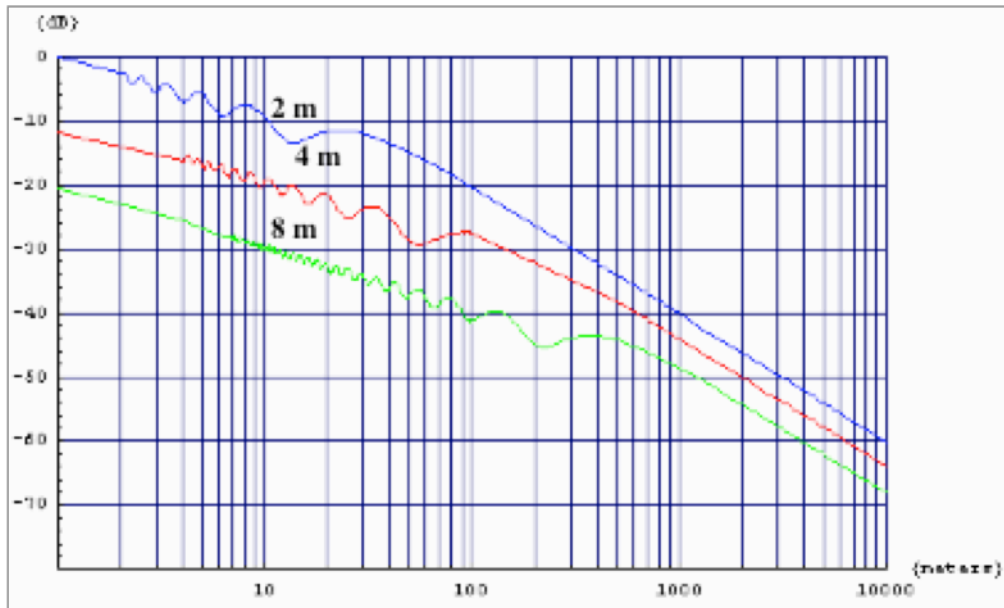


Σχήμα 4.3: Η on-axis απόκριση της ηχητικής πίεσης στο κέντρο μίας ενιαίας γραμμικής πηγής. ($H=4m$, $f=8kHz$)

Όπως προαναφέρθηκε, η κρίσιμη απόσταση εξαρτάται από τη συχνότητα και από το μήκος της συστοιχίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4 το σημείο της κρίσιμης απόστασης διαφέρει για τα 500Hz το 2kHz και τα 8kHz. Το ίδιο παρατηρείται και στο σχήμα 4.5 αλλά συναρτήσει του μήκους της συστοιχίας καθώς η κρίσιμη απόσταση αυξάνεται όσο αυξάνεται το H .



Σχήμα 4.4: Η on-axis απόκριση της ηχητικής πίεσης στο κέντρο μίας 4m ενιαίας γραμμικής πηγής για $f=500Hz$, $f=2kHz$ και $f=8kHz$. Οι καμπύλες για τα 2kHz και 8kHz είναι offset κατά 10dB και 20dB αντίστοιχα

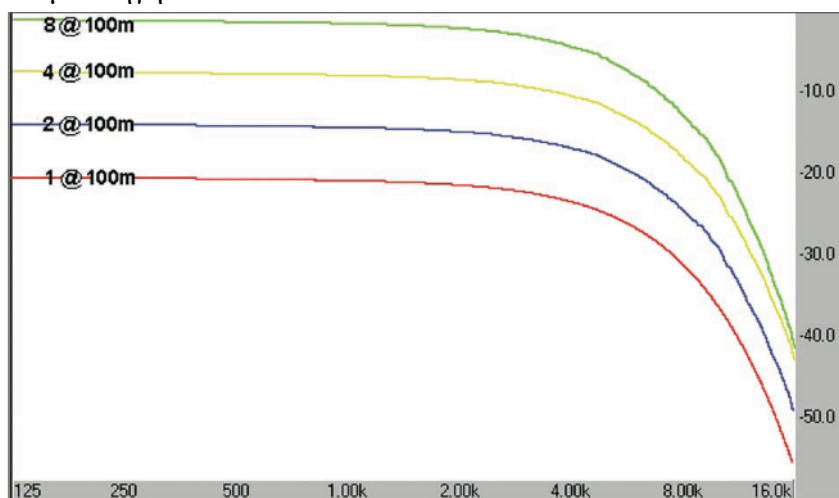


Σχήμα 4.5: Η on-axis απόκριση της ηχητικής πίεσης στο κέντρο μίας ενιαίας γραμμικής πηγής (εκπέμποντας στα 8kHz) μήκους 2m, 4m και 8m. Οι καμπύλες για τα 4m και 8m είναι offset κατά 10dB και 20dB αντίστοιχα.

4.5 Near και Far field στην Πράξη

Στην πράξη τα line array συστήματα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη ισχύ, είναι υβριδικά. Ενώ για τις μεσαίες συχνότητες ακολουθούν τη θεωρία των line sources, για τις υψηλές, η επιθυμητή κατευθυντικότητα επιτυγχάνεται με τη χρήση κυματοδηγών. Τέλος για τις χαμηλές συχνότητες ακολουθούν τις αρχές λειτουργίας των συμβατικών συστημάτων.

Στο μακρινό πεδίο κάθε οδηγός της συστοιχίας λειτουργεί εποικοδομητικά έτσι ώστε όλοι μαζί να παράγουν ένα ενιαίο κύμα. Συνεπώς στο μακρινό πεδίο το line array λειτουργεί σαν μία πηγή.



Σχήμα 4.6: Συχνотική απόκριση στο μακρινό πεδίο (100m), για line array με ποικίλο αριθμό πηγών. Παρατηρείται η πτώση των υψηλών συχνοτήτων λόγω της απορρόφησης του αέρα.

Αυτό αποδεικνύει και το σχήμα 4.6 όπου φαίνεται η συχνотική απόκριση σε μακρινό πεδίο για line array αποτελούμενο από 2, 4 και 8 πανκατευθυντικούς οδηγούς σε μεταξύ τους απόσταση 0,4m. Ως αναφορά υπάρχει και η καμπύλη μίας πανκατευθυντικής πηγής. Με κάθε διπλασιασμό των ηχητικών πηγών προκαλείται μία ενιαία αύξηση κατά 6dB. Η συχνотική απόκριση και στις υψηλές συχνότητες είναι flat αλλά προκύπτει ένα φυσικό roll-off λόγω της απορρόφησης του αέρα. (θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία 50%).

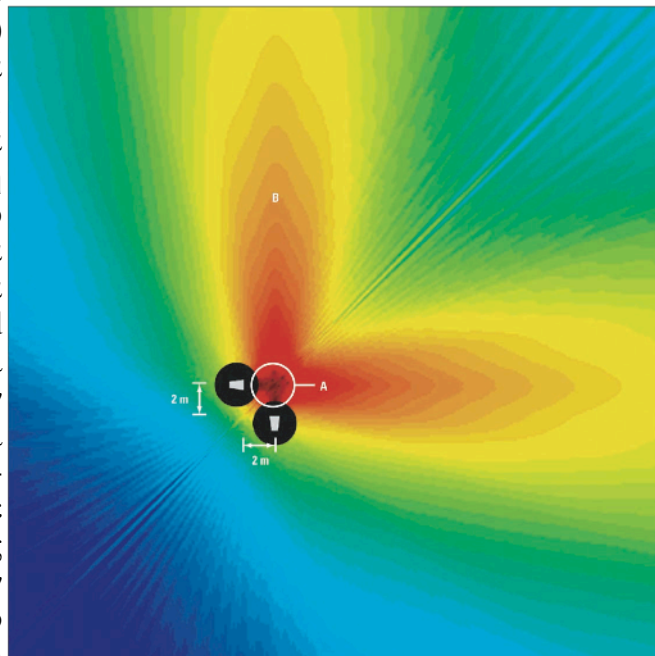
Πρακτικά στο κοντινό πεδίο ενός line array συστήματος η συχνотική απόκριση είναι πιο περίπλοκη. Λόγω της κατευθυντικότητας των υψηλών συχνотήτων είναι φυσιολογικό πως, ενώ οποιοδήποτε μεμονωμένο σημείο του κοντινού πεδίου βρίσκεται on-axis μόνο για έναν οδηγό υψηλών συχνотήτων, το ίδιο σημείο το «βλέπουν» όλες οι καμπίνες των χαμηλών. Γι' αυτό προσθέτοντας καμπίνες στο σύστημα η ισχύς των χαμηλών στο κοντινό πεδίο αυξάνεται ενώ των υψηλών μένει ίδια.

Έτσι προκύπτει πως τα line array χρειάζονται ενισχυτική ισοστάθμιση στις υψηλές συχνотήτες. Στο κοντινό πεδίο πρέπει ν' αντισταθμιστεί η αύξηση των χαμηλών συχνотήτων που είναι λιγότερο κατευθυντικές και στο μακρινό πεδίο πρέπει να αναπληρωθεί η απώλεια από την απορρόφηση του αέρα.

4.6 Line Array και Κυλινδρικά Κύματα

Όπως έχει προαναφερθεί, ο Olson είχε θεωρήσει πως εάν τοποθετηθεί άπειρος αριθμός σημειακών πηγών σε μηδενική απόσταση μεταξύ τους, δημιουργείται ένα line source array που εκπέμπει ένα κυλινδρικό κύμα που μειώνεται κατά 3dB ανά διπλασιασμό της απόστασης.

Στην εφαρμογή (line arrays) τα πράγματα είναι διαφορετικά. Λόγω αυτής της θεωρίας έχει δημιουργηθεί μία άποψη πως όντως ένα line array σύστημα μπορεί να εκπέμπει κυλινδρικά κύματα. Όταν δύο ή παραπάνω υδάτινα κύματα (μη γραμμικά) συμπίπτουν, διαμορφώνουν ένα καινούργιο κύμα με διαφορετική μορφή. Εάν αυτό συνέβαινε και με τα ηχητικά κύματα, ίσως να ήταν πιο εφικτή η πραγματοποίηση ενός κυλινδρικού κύματος. Παρόλα αυτά τα ηχητικά κύματα συμπεριφέρονται εντελώς διαφορετικά από τα υδάτινα. Η Meyer Sound πραγματοποιεί ένα πείραμα που μελετάει την συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων όταν συμπίπτουν. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η κάθετη «διασταύρωση» δύο MLS-4 μεγαφώνων. Στην περιοχή A που είναι με έντονο κόκκινο χρώμα φαίνεται πως υπάρχει συνήχηση των δύο μεγαφώνων ενώ στην περιοχή B που βρίσκεται πιο έξω δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση στην εκπομπή των δύο μεγαφώνων. Πρακτικά αν σταμάταγε να δουλεύει το ηχείο που «βλέπει» προς την περιοχή A, δεν θα υπήρχε καμία αλλαγή σ' αυτό που ακούγεται στη θέση B. Όταν τα δύο ηχητικά κύματα του πειράματος συμπίπτουν το ένα



Σχήμα 4.7: Κάθετη «διασταύρωση» δύο MLS-4 μεγαφώνων.

περνάει γραμμικά μέσα απ' το άλλο χωρίς ν' αλληλοεπηρεάζονται καθόλου οι κατευθυντικότητές τους. Είναι φανερό ότι για να επιτευχθεί κυλινδρικό κύμα ή κύμα που να έχει κυλινδρικής διάδοσης χαρακτηριστικά εξαρτάται και από τον τρόπο τοποθέτησης των ηχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΕΙΣ LINE ARRAY

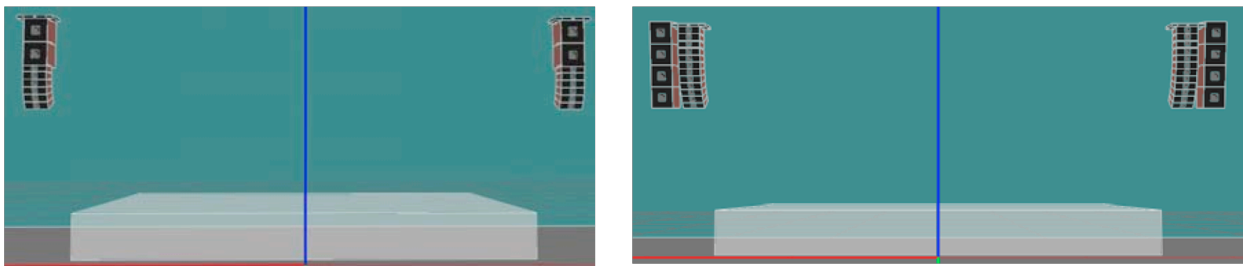
Εισαγωγή

Ένα line array σύστημα, όσον αφορά την ανάρτησή του, μπορεί να τοποθετηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: είτε flown, είτε stacked, είτε hybrid (flown/stacked). Γενικά τα line array συστήματα (όσον αφορά τους δορυφόρους) είναι κατασκευασμένα για να τοποθετούνται flown. Γι' αυτό το λόγο οι περισσότεροι ηχολήπτες προτιμούν αυτή την τοποθέτηση. Όμως η επιλογή της σωστής τοποθέτησης συνδυάζεται πάντα με τον εκάστοτε χώρο. Δηλαδή η επιλογή της κατάλληλης τοποθέτησης ενός line array συστήματος, γίνεται σύμφωνα με τις ακουστικές και γεωμετρικές ιδιότητες του χώρου. Ένα δεύτερο κριτήριο για την τοποθέτηση των line array συστημάτων, είναι η καμπύλωσή τους. Όπως έχει προαναφερθεί, η κατευθυντικότητα ενός line array συστήματος διαμορφώνεται και αλλάζει ανάλογα με την κλίση της εκάστοτε συστοιχίας. Έτσι λοιπόν βάση της κλίσης της κάθε συστοιχίας έχουν δημιουργηθεί τέσσερις κατηγορίες: flat array, curved array, J-array και spiral array. Παρακάτω ακολουθεί μία πιο επιμελής προσέγγιση.

5.1 Flown τοποθέτηση

Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα τοποθετείται κρεμασμένο (Σχήμα 5.1). Στη flown τοποθέτηση, με την προϋπόθεση ότι ο αριθμός των ηχείων που στοιχίζονται επαρκεί για την απαραίτητη κάλυψη όλου του ακροατήριου (από μπροστά έως πίσω), τα συστήματα παρέχουν την πιο ομοιόμορφη εντασιακή και συχνотική κάλυψη. Επιπλέον στην περίπτωση που τοποθετηθούν περισσότερα από 6 ηχεία ανά στήλη (π.χ. σχήμα 5.1 δεξιά), τότε η κατασκευή είναι και πιο σταθερή.

Στο σχήμα 5.1 (αριστερά) είναι ένα τρίδρομο line array σύστημα που αποτελείται από τους δορυφόρους (High και High-Mid) και τις καμπίνες Low-Mid, σε flown τοποθέτηση όπου οι δορυφόροι έχουν τοποθετηθεί κάτω από τις Low-Mid καμπίνες του συστήματος (downfill). Δεξιά, με περισσότερες καμπίνες, οι δορυφόροι έχουν αναρτηθεί δίπλα στα Low-Mid.

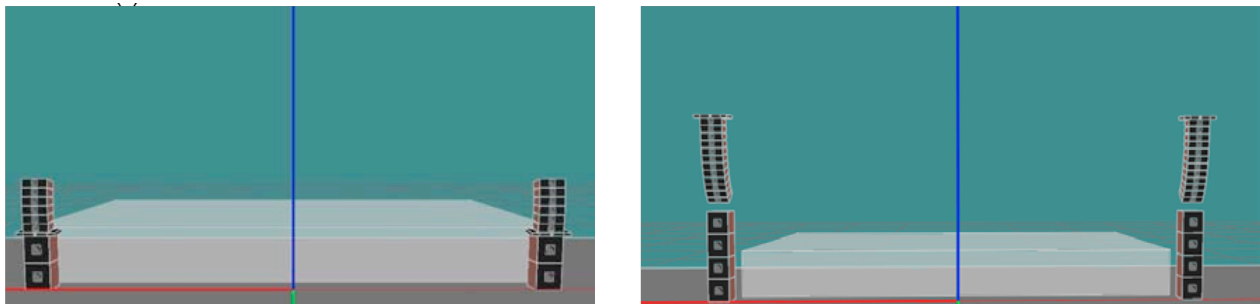


Σχήμα 5.1: Πιθανές flown τοποθετήσεις ενός τρίδρομου line array συστήματος.

5.2 Stacked τοποθέτηση

Μία stacked τοποθέτηση ενός line array προσφέρει ενίσχυση των χαμηλών συχνοτήτων λόγω επαφής με το έδαφος. Επίσης για γεωμετρικούς λόγους σε μερικούς χώρους, όπως ένα στάδιο, μπορεί να παρέχει μεγαλύτερη κάθετη κάλυψη με λιγότερα ηχεία απ' ότι μία flown. Για τους δύο παραπάνω λόγους η stacking τοποθέτηση, για μικρές συστοιχίες δορυφόρων, είναι αποτελεσματική (ποσοτικά εάν όχι ποιοτικά) καθώς με λίγα ηχεία μπορεί να βελτιωθεί η ηχητική κάλυψη του κοινού και να ενισχυθεί η απόκριση των χαμηλών συχνοτήτων.

Στο σχήμα 5.2 (αριστερά) φαίνεται μία stacked τοποθέτηση ενός τριδρομου line array συστήματος που αποτελείται από τους δορυφόρους (High και High-Mid) και τις καμπίνες Low-Mid, όπου οι δορυφόροι είναι τοποθετημένοι πάνω στα Low-Mid του συστήματος. Στα δεξιά, με τις περισσότερες καμπίνες, οι δορυφόροι είναι τοποθετημένοι δίπλα στα Low-Mid.



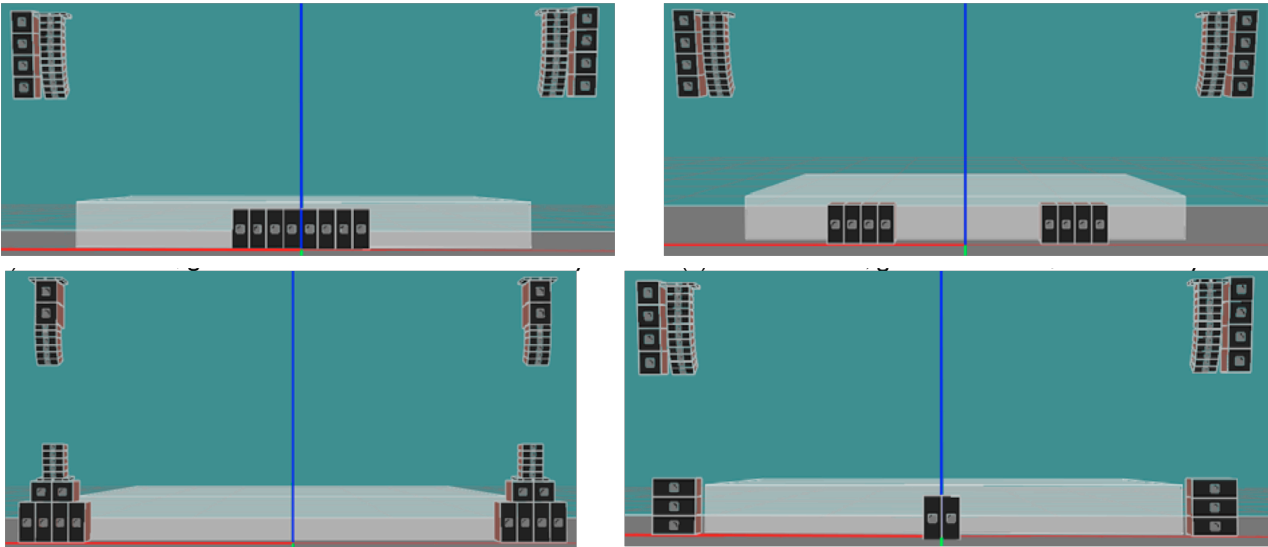
Σχήμα 5.2: Πιθανές stacked τοποθετήσεις ενός τριδρομου line array συστήματος.

5.3 Hybrid τοποθέτηση

Στα υβριδικά line array συστήματα γίνεται συνδυασμός flown και stacked τοποθετήσεων και εξαρτάται απ' τον εκάστοτε χώρο. Σκοπός είναι ο σωστός συνδυασμός των προτερημάτων των δύο τρόπων τοποθέτησης. Στην περίπτωση ενός συστήματος τεσσάρων δρόμων γίνεται συνδυασμός stacked και flown τοποθέτησης μεταξύ των δορυφόρων (High/High-Mid), των μασομεσαίων (Low-Mid) και των Low (SUB).

Στο σχήμα 5.3 είναι τέσσερις περιπτώσεις υβριδικής τοποθέτησης ενός τετράδρομου (High, High-Mid, Low-Mid και Low) line array συστήματος που αποτελείται από τρία είδη καμπίνων: τις High και High-Mid, τις Low-Mid και τις Low (SUB). Στην περίπτωση **α**) (πάνω αριστερά) οι δορυφόροι (High/High-Mid) είναι αναρτημένοι δίπλα στα Low-Mid ενώ τα SUB βρίσκονται στο κέντρο του stage. Στην περίπτωση **β**) (πάνω δεξιά) οι δορυφόροι και τα Low-Mid είναι στην ίδια θέση όπως και με την περίπτωση **α**, ενώ τα SUB βρίσκονται στα κέντρα του δεξιού και του αριστερού μέρους του stage. Στην περίπτωση **γ**) (κάτω αριστερά) οι μισοί δορυφόροι και τα μισά Low-Mid είναι αναρτημένα με τους δορυφόρους ενωμένους κάτω από τα Low-Mid (downfill). Τα υπόλοιπα Low-Mid βρίσκονται στα δύο άκρα του stage πάνω στα SUB ενώ πάνω απ' τα Low-Mid βρίσκονται οι υπόλοιποι δορυφόροι. Στην περίπτωση **δ**) (κάτω δεξιά) οι δορυφόροι είναι αναρτημένοι δίπλα στα Low-Mid. Δύο SUB βρίσκονται στο κέντρο του stage ενώ τα υπόλοιπα είναι χωρισμένα στα δύο άκρα.

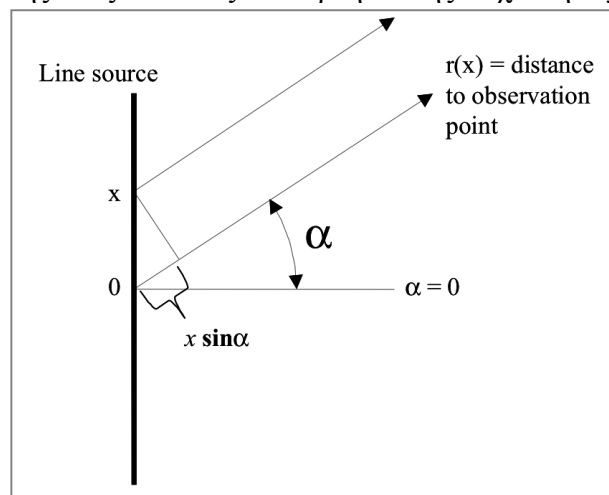
Όπως μπορεί να διαπιστωθεί υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί που μπορούν να γίνουν για να επιτευχθεί το επιθυμητό για την κάθε περίπτωση αποτέλεσμα. Το μόνο δεδομένο που μπορεί να παρατηρηθεί στις παραπάνω τοποθετήσεις line array συστημάτων είναι η συμμετρία του Left με του Right μέρους.



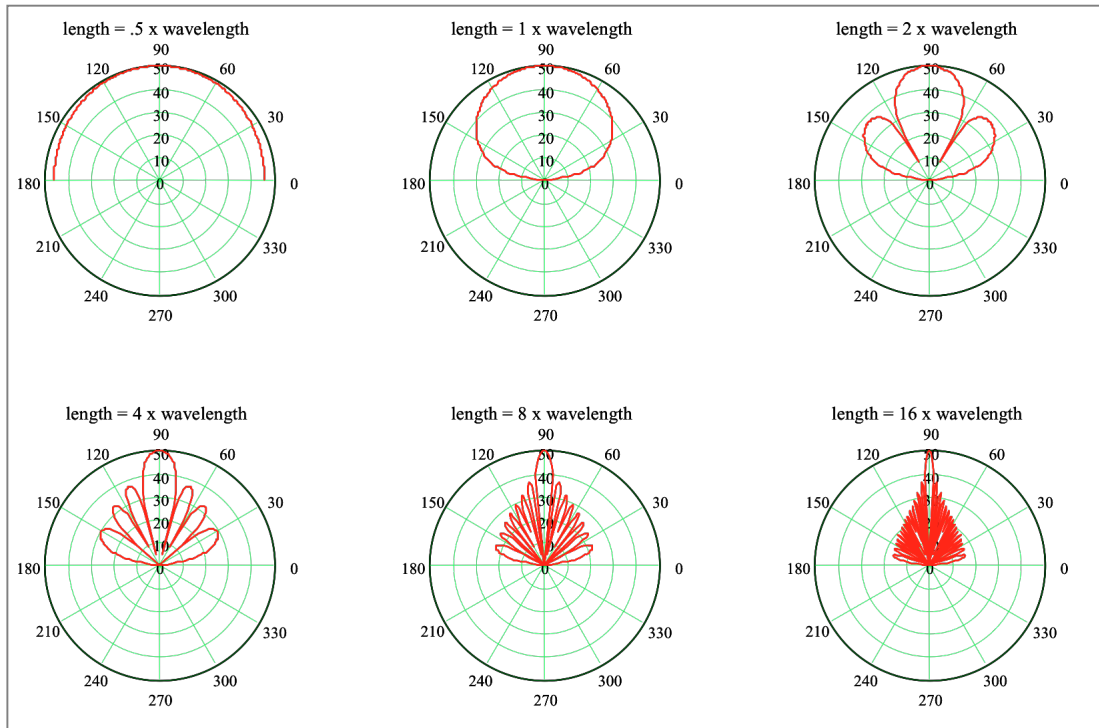
Σχήμα 5.3: Πιθανές hybrid τοποθετήσεις ενός τετράδρομου line array συστήματος.

5.4 Flat Array

Σ' ένα flat array η συστοιχία έχει κλίση μηδέν μοίρες (0°). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.4, έχουμε ένα line source (γραμμική πηγή) μήκους L και α είναι η γωνία μεταξύ της οπ- axis ευθείας και της ευθείας προς το εκάστοτε σημείο παρατήρησης (observation point). Στο σχήμα 5.5 φαίνονται οι καμπύλες απόκρισης ενός flat array συναρτήσει της συχνότητας και του μήκους της συστοιχίας (L). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, για σταθερό μήκος συστοιχίας, όσο αυξάνεται η συχνότητα αρχίζουν να εμφανίζονται πλευρικοί λοβοί και στις πιο υψηλές συχνότητες το σύστημα γίνεται πιο κατευθυντικό. Αντίστοιχα απ' το σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα πως όσο αυξάνεται το μήκος της συστοιχίας L , για την ίδια συχνότητα, το σύστημα γίνεται επίσης πιο κατευθυντικό.



Σχήμα 5.4: Γεωμετρική αναπαράσταση ενός flat source array.



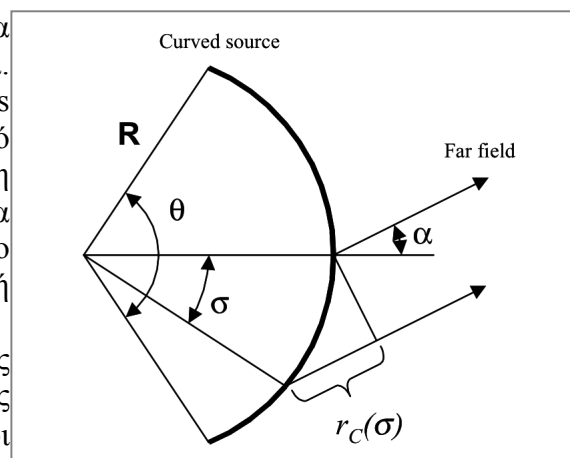
Σχήμα 5.5: Καμπύλες κάθετης κατευθυντικής απόκρισης ενός flat array.

Η αυξανόμενη κατευθυντικότητα για τις υψηλές συχνότητες είναι ένα βασικό πλεονέκτημα όλων των line array συστημάτων. Παρ' όλα αυτά η κατευθυντικότητα των flat array είναι πολύ μεγαλύτερη από οποιοδήποτε άλλο array. Αυτό προκαλεί πρόβλημα στην περίπτωση που το σύστημα θέλει να καλύψει ένα κανονικού μεγέθους ακροατήριο. Επίσης σ' ένα χώρο με πολλά διαζώματα όπου δημιουργούνται διαφορετικά επίπεδα ύψους, η κατευθυντικές υψηλές συχνότητες ενός flat array δεν μπορούν να καλύψουν ομοιόμορφα όλο το κοινό. Εκτός από την ιδανική αλλά και αδύνατη περίπτωση όπου το μήκος του array θα επεκτεινόταν από το πάτωμα ως και το ανώτατο σημείο ακροατηρίου.

5.5 Curved Array

Το επόμενο βήμα για να επιλυθούν αυτά τα προβλήματα είναι να καμπυλωθεί η συστοιχία. Αυτή είναι και η κατηγορία των curved arrays που διαφέρουν μεταξύ τους στο βαθμό καμπύλωσης της συστοιχίας. Η καμπύλωση προσφέρει πιο διευρυμένη κατευθυντικότητα από αυτή του flat array. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.6 το curved array είναι μία καμπυλωτή συστοιχία ακτίνας R και συνολικής γωνίας θ .

Στο σχήμα 5.8 φαίνονται οι καμπύλες απόκρισης ενός curved array συνολικής γωνίας 60° . Όπως μπορεί να παρατηρηθεί οι δευτερεύοντες λοβοί είναι πιο μικροί από αυτούς του flat array και έτσι ευρύνεται ο on-axis λοβός. Όσο αυξάνεται η συχνότητα το κύμα που εκπέμπεται είναι πιο κατευθυντικό



Σχήμα 5.6: Γεωμετρική αναπαράσταση ενός curved source array.

αλλά πιο διευρυμένο απ' ότι πριν.

Παρ' όλα αυτά σε πολλούς χώρους η απόκριση του curved array δεν ταιριάζει και συνεπώς δεν μπορεί να καλύψει ομοιόμορφα όλο το κοινό. Για παράδειγμα αν τοποθετηθεί σε flowη διάταξη η συστοιχία από την μέση και κάτω καμπυλώνεται έτσι ώστε να καλύψει τους θεατές που βρίσκονται μπροστά στη σκηνή ενώ από την μέση και πάνω καμπυλώνεται προς την οροφή του χώρου. Το αντίθετο θα συμβεί σε μια stacked διάταξη. Οπότε και αυτή η καμπυλότητα δεν είναι απολύτως επιθυμητή καθώς α) σε ανοιχτό χώρο είναι σπατάλη ενέργειας και β) σε κλειστό χώρο μπορούν να προκληθούν ανεπιθύμητες ανακλάσεις με αποτέλεσμα να χάνεται η διαύγεια του συστήματος.

Προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα στην κυμάτωση, υπάρχει όριο στην καμπύλωση που μπορεί να υπάρξει ανάμεσα σε δυο διαδοχικές καμπίνες. Δηλαδή υπάρχει μία μέγιστη γωνία καμπύλωσης α_{max} (σχήμα 5.7) και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

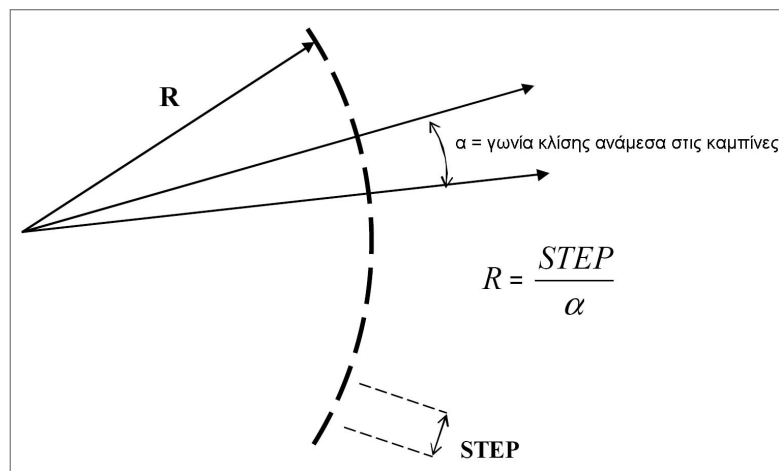
$$\alpha_{max} \leq 3^\circ / \text{STEP (m)}$$

Όπου α_{max} : η μέγιστη γωνία κλίσης ανάμεσα σε δυο διαδοχικές καμπίνες

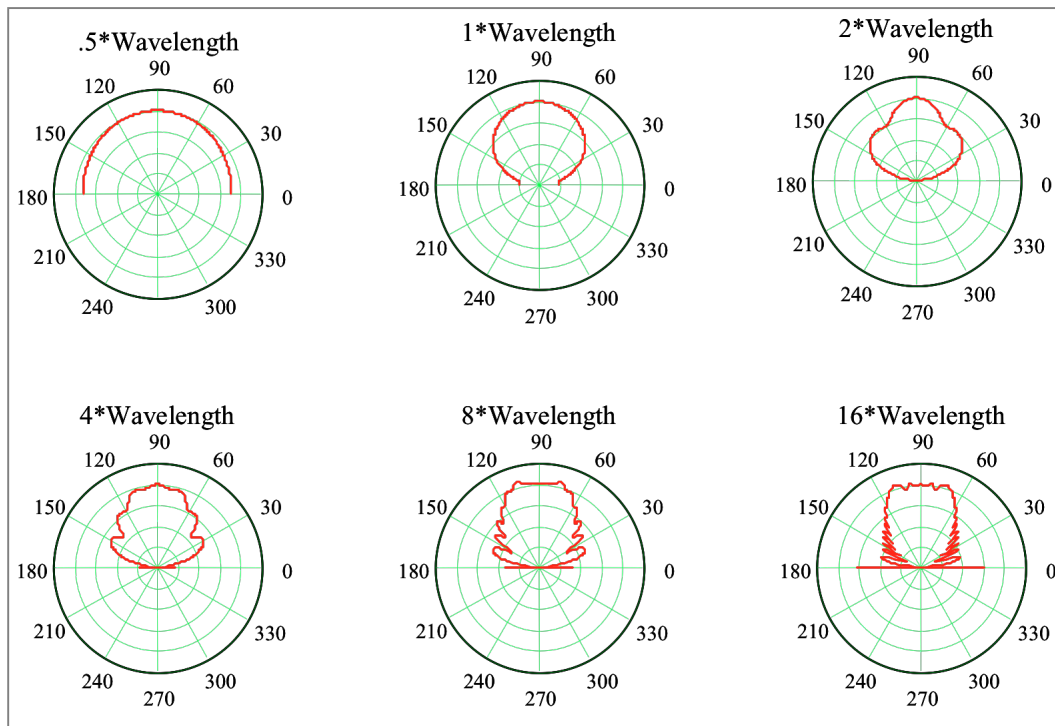
STEP : Η απόσταση ανάμεσα στα ακουστικά κέντρα δυο διαδοχικών καμπίνων.

Μονάδα μέτρησης του STEP είναι το μέτρο.

Τέλος για να υπάρχει η δυνατότητα να καμπυλωθεί ένα line array, το D θα πρέπει να είναι μικρότερο από το STEP_{max} . Το D αντιστοιχεί στο κάθετο μέγεθος της καμπίνας (βλ. *arithmetic spiral array*).



Σχήμα 5.7: Γεωμετρική αναπαράσταση ενός curved source array.



Σχήμα 5.8: Καμπύλες κάθετης κατευθυντικής απόκρισης ενός curved array γωνίας $\theta=60^\circ$.

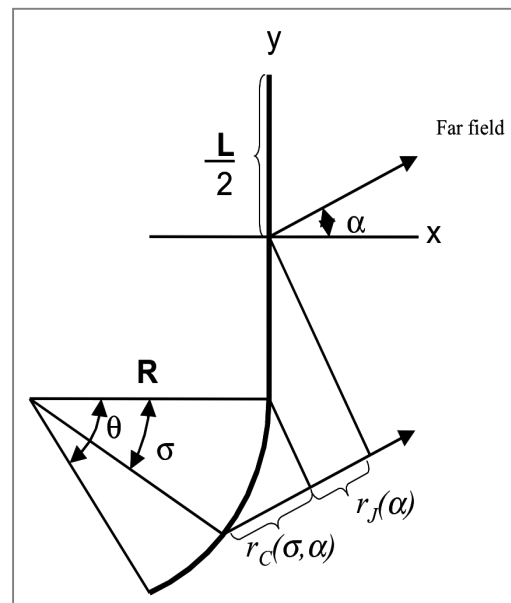
5.6 J Array

Το J-array είναι ο συνδυασμός ενός flat και ενός curved array. Ουσιαστικά το flat μέρος είναι τοποθετημένο από πάνω και το curved από κάτω. Το ίδιο μέρος έχει σκοπό την κάλυψη του μακρινού κοινού και το curved μέρος στοχεύει στην κάλυψη του πιο κοντινού κοινού. Το αντίθετο ισχύει αν είναι stacked το σύστημα. Η καμπύλη απόκρισης που παράγει ο συνδυασμός των δύο στοιχείων είναι ασύμμετρη. Στο σχήμα 5.9 φαίνεται η γεωμετρική αναπαράσταση ενός J-Array όπου L είναι το μήκος της ευθείας συστοιχίας, ενώ R και θ είναι η ακτίνα και η συνολική γωνία του curved μέρους αντίστοιχα.

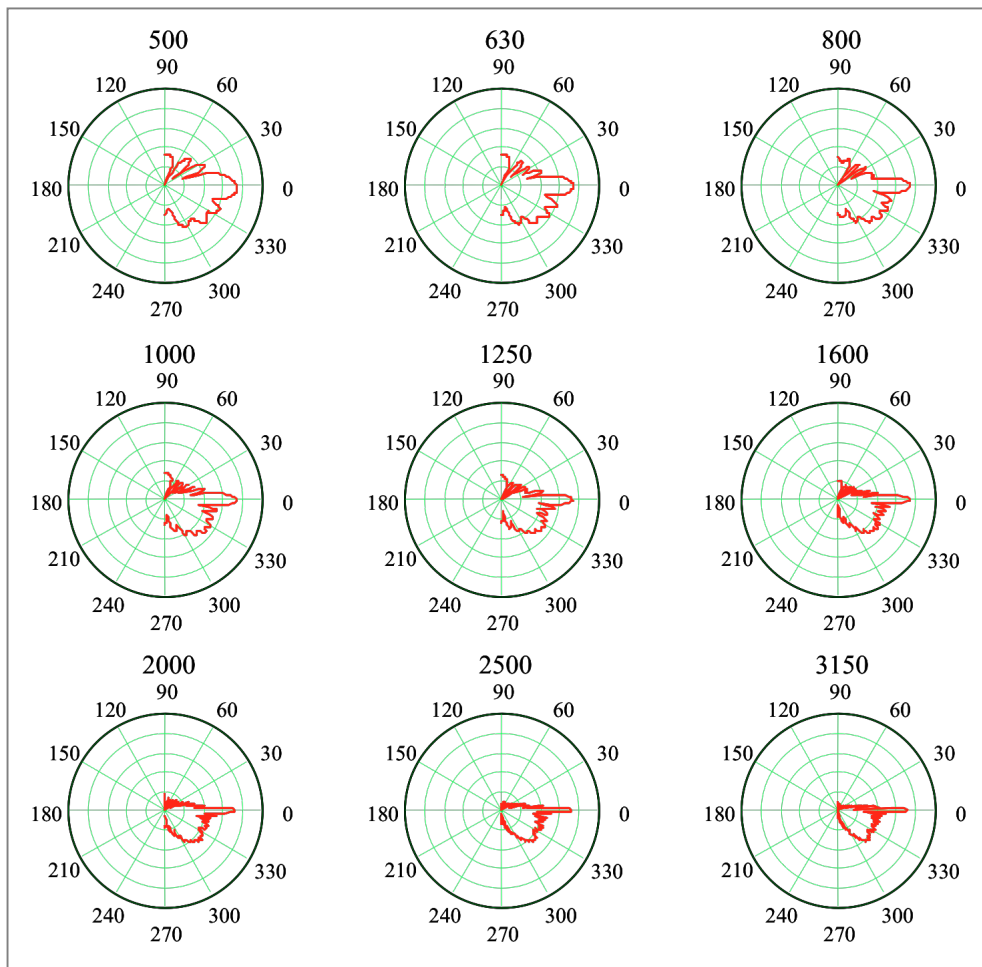
Γενικά η απόκριση ενός J-Array εξαρτάται από το μήκος (L) του flat μέρους, την ακτίνα (R) και συνολική γωνία (θ) του curved μέρους, το σχετικό μήκος των δύο τμημάτων και τη συχνότητα (f) που εκπέμπεται.

Στο σχήμα 5.10 φαίνονται οι καμπύλες απόκρισης ενός J-Array όπου $L=2m$, $R=1$ και $\theta=60^\circ$ για συχνότητες από 400Hz ως και 3150Hz. Όπως φαίνεται, το flat τμήμα παράγει μία δέσμη η οποία στενεύει και γίνεται πολύ στενή στις υψηλές συχνότητες. Το curved τμήμα παράγει μία πιο διευρυμένη κάλυψη η οποία στις υψηλές συχνότητες διαμορφώνει ένα σχήμα ανομοιόμορφο το οποίο δεν καλύπτει

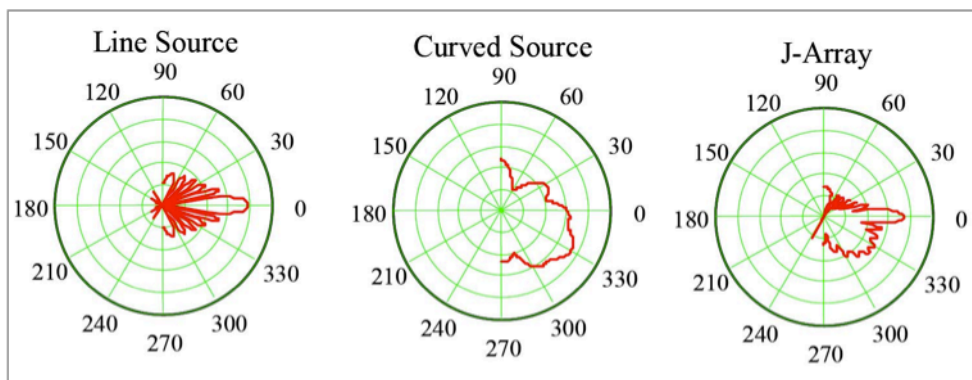
ισορροπημένα το κοντινό κοινό καθώς αυτή η ανομοιομορφία απεικονίζει τους λοβούς διαφοράς ηχητικής έντασης που δημιουργούνται στο κοντινό πεδίο.



Σχήμα 5.9: Γεωμετρική αναπαράσταση ενός J-source array.



Σχήμα 5.10: Καμπύλες κάθετης κατευθυντικής απόκρισης ενός J-array όπου, $L=2m$ (για το flat μέρος) και $R=1m$, $\theta=60^\circ$ (για το curved μέρος).



Σχήμα 5.11: Καμπύλες κάθετης κατευθυντικής απόκρισης στο 1kHz ενός flat array μήκους $L=2m$, ενός curved array γωνίας $\theta=60^\circ$ και ακτίνας $R=1m$ και ενός J-Array όπου $L=2m$ (για το flat μέρος) και $R=1m$, $\theta=60^\circ$ (για το curved μέρος).

Στο σχήμα 5.11 φαίνονται οι καμπύλες απόκρισης ενός flat array, ενός curved array και ενός J-Array αντίστοιχων διαστάσεων. Όπως φαίνεται σε αντίθεση με το flat array το J-Array έχει ασύμμετρη απόκριση αλλά πιο στενή και με καλύτερη κατευθυντικότητα απ' το curved array.

5.7 Spiral Array

Η τελευταία κατηγορία array συναρτήσει της διαμόρφωσης της κλίσης του, είναι το spiral array. Όπως και το J-Array έχει ασύμμετρο κάθετο πολικό διάγραμμα αλλά αποτελείται από ένα τμήμα, στο οποίο υπάρχει προοδευτική καμπύλωση. Το αποτέλεσμα είναι ότι το άνω μέρος ξεκινάει απ' τις 0° ενώ το κάτω μέρος καταλήγει να έχει κάποια κλίση προς τα κάτω. Δεν υπάρχει κανένα flat τμήμα στην τοποθέτηση αυτή.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι spiral array που προσφέρουν μία ποικιλία πολικών αποκρίσεων και η διαφορά τους βασίζεται στον τρόπο κλίσης της συστοιχίας.

Ένα arithmetic spiral είναι αυτό για το οποίο η γωνία μεταξύ γειτονικών καμπινών αλλάζει από μία προκαθορισμένη γωνία θ . Στο σχήμα 5.12 φαίνεται η γεωμετρική αναπαράσταση ενός spiral array.

Με Ω συμβολίζεται η τελική γωνία ως προς των άξονα x και δίνεται απ' τον τύπο:

$$\Omega = \frac{1}{2} n(n+1)\Delta\theta$$

Όπου Ω : η γωνία της τελευταίας καμπίνας ως προς τον άξονα x.

n : ο αριθμός της εκάστοτε καμπίνας.

$\Delta\theta$: η γωνία ανάμεσα σε δυο διαδοχικές καμπίνες.

Επίσης το συνολικό μήκος μίας συστοιχίας είναι $L = n \cdot D$ Όπου

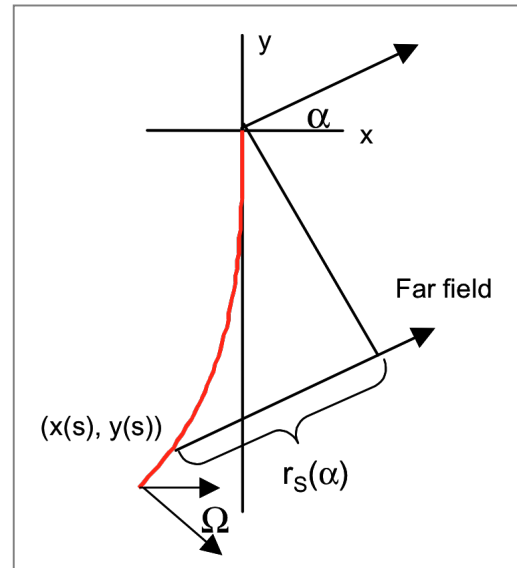
L : το συνολικό μήκος της συστοιχίας

n : ο αριθμός των καμπινών

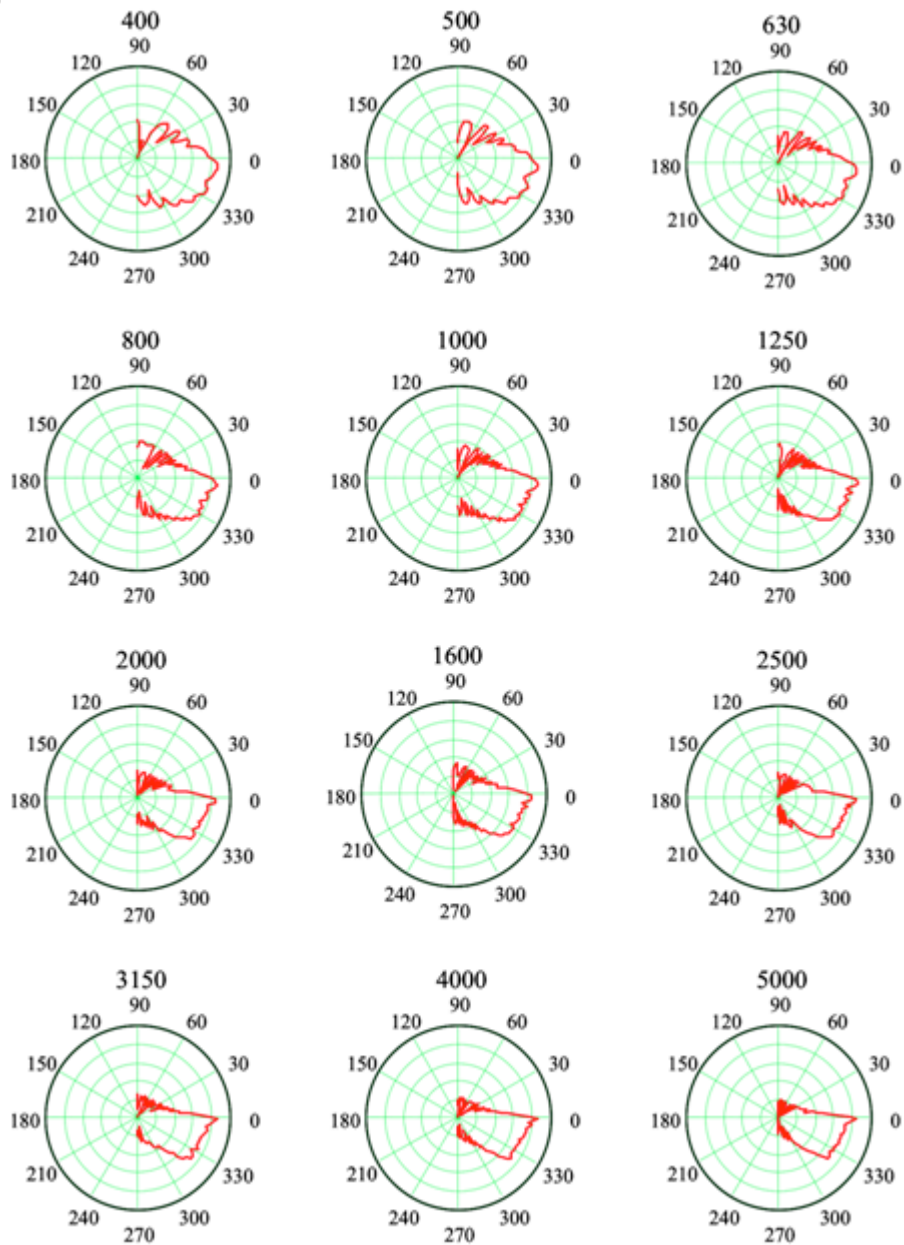
D : το ύψος της κάθε καμπίνας.

Το Ω και το L είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που προσδιορίζουν το spiral array.

Για παράδειγμα, η πρώτη καμπίνα κρέμεται με κλίση 0° , η επόμενη με 1° , η επόμενη με 2° κ.ο.κ. Αυτό ορίζει ένα spiral array όπου η γωνία της νιοστής καμπίνας, σε σχέση με τον κάθετο άξονα, καθορίζεται από $0^\circ, 1^\circ, 3^\circ, 6^\circ, 10^\circ$ κ.ο.κ. (ως μία αριθμητική προέκταση). Σε μία τοποθέτηση ανά 2° ο παραπάνω τύπος για την εκάστοτε καμπίνα θα έδινε τις γωνίες: $0^\circ, 2^\circ, 6^\circ, 12^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ κ.ο.κ.



Σχήμα 5.12: Γεωμετρική αναπαράσταση ενός spiral source array.



Σχήμα 5.13: Καμπύλες κάθετης κατευθυντικής απόκρισης ενός arithmetic spiral array συνολικού μήκους $L=5m$ και τελικής γωνίας $\Omega=45^\circ$.

Στο σχήμα 5.13 φαίνονται οι καμπύλες απόκρισης ενός arithmetic spiral array όπου $L=5m$ και $\Omega=45^\circ$. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, η απόκριση του είναι πιο ομοιόμορφη απ' ότι στις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις καθώς η κατευθυντικότητα των υψηλών συχνοτήτων που στοχεύει στο πιο μακρινό κοινό, είναι πιο ομαλή. Επίσης στο κοντινό πεδίο η εντασιακή κάλυψη στις υψηλές συχνότητες είναι πιο ομοιόμορφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΤΑΙΡΙΕΣ LINE ARRAY

Εισαγωγή

Γενικά υπάρχουν διάφορες εταιρίες που κατασκευάζουν line array συστήματα όπως η L-Acoustics, η Meyer, η Electro Voice, η JBL, η NEXO κλπ. Κάποιες απ' αυτές είναι πιο πετυχημένες και άλλες με πιο συμβιβαστικά αποτελέσματα. Γενικά, στην κατασκευή και ρύθμιση ενός line array, υπάρχουν διάφοροι τομείς που πρέπει να προσεχθούν ώστε να επιτευχθεί μια αποτελεσματική εντασιακή και συχνотική κάλυψη. Ένας απ' αυτούς είναι κατά πόσο τηρείται η προϋπόθεση πως: $b < \lambda_{min}/2$ όπου λ_{min} το μήκος κύματος που αντιστοιχεί για την f_{max} που εκπέμπει ο οδηγός του συστήματος. Γι' αυτό το λόγο, από το 1992 μέχρι και το 2003, έγιναν διάφορες έρευνες με σκοπό τη βελτιστοποίηση του μετωπικού κύματος που παράγουν οι κυματοδηγοί στις υψηλές συχνότητες (*"Sound Fields Radiated by Multiple Sound Source Arrays"*, 1992 και *"Wavefront Sculpture Technology"*, *JAES Vol. 51, No. 10, October 2003*).

Όπως έχει προαναφερθεί, τα προβλήματα υλοποίησης ενός ιδανικού line array συστήματος, προκύπτουν στα άκρα του συχνотικού φάσματος (υψηλές και χαμηλές συχνότητες). Επίσης οι κατασκευαστικές εταιρίες αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα, έχοντας βρει αλλά και ψάχνοντας καινούργιες λύσεις, μόνο για τις υψηλές συχνότητες ενώ για τις χαμηλές συχνότητες δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη κατασκευή. Γι' αυτό το λόγο παρακάτω θα αναφερθούν λύσεις που έχουν δοθεί, πάνω σ' αυτό το πρόβλημα, από τις ακόλουθες κατασκευαστικές εταιρίες line array:

Την L-Acoustics, τη Meyer Sound και τη NEXO.

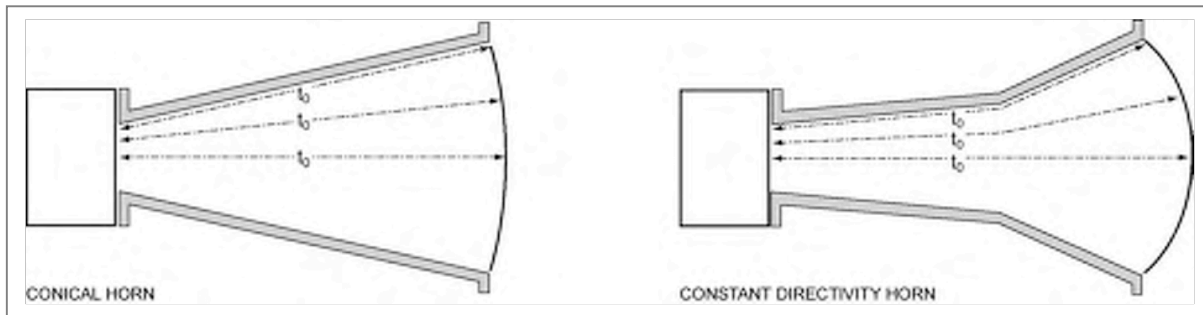
6.1 L-ACOUSTICS

Η L-Acoustics είναι μία γαλλική εταιρία που κατασκεύασε το πρώτο της σύστημα το 1992 (V-DOSC) και ταυτόχρονα κατασκεύασε και χρησιμοποίησε σε αυτό τον κυματοδηγό V-DOSC. Από τότε προφανώς έχουν γίνει πολλές βελτιωτικές μετατροπές του ίδιου συστήματος καθώς και καινούργιες κατασκευές.

6.1.1 Κυματοδηγός DOSC

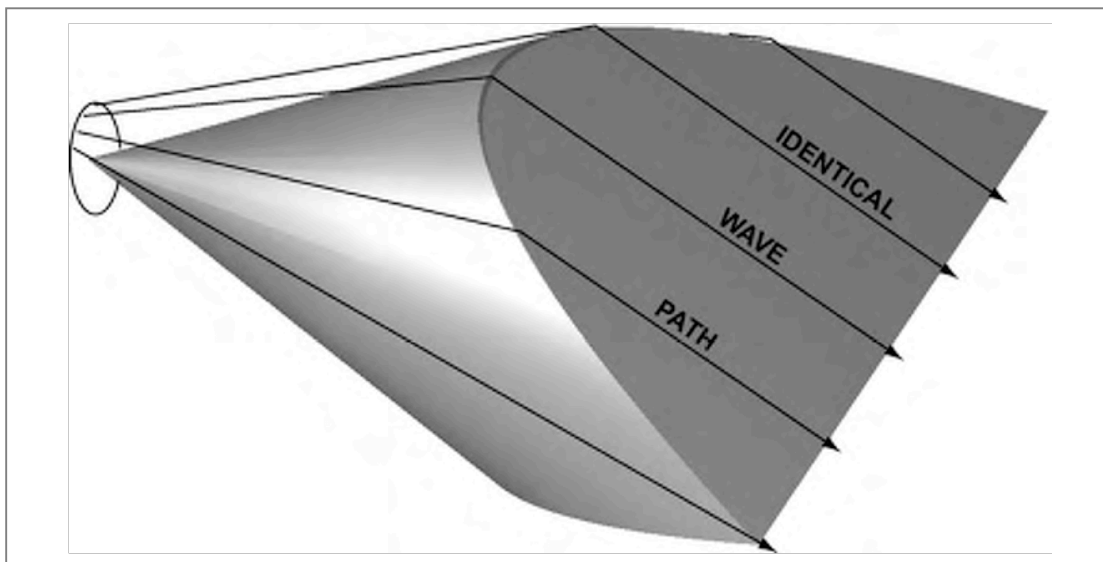
Ο κυματοδηγός DOSC εφευρέθηκε από τον Dr. Christian Heil και είναι μία παγκοσμίως αναγνωρισμένη πατέντα. Το DOSC είναι τ' αρχικά που δίνουν το νόημα: "Diffuseur d'Onde Sonore Cylindrique" και αυτό στα ελληνικά σημαίνει: Διαχυτής Κυλινδρικών Ηχητικών Κυμάτων. Ο DOSC κυματοδηγός λειτουργεί τηρώντας τον 3^ο και 5^ο κανόνα (κεφ. 3.2) και για υψηλές συχνότητες.

Ο κυματοδηγός DOSC είναι το αποτέλεσμα προσεκτικής ανάλυσης της πορείας του κύματος μέσα από ένα κυματοδηγό και του τελικού σχήματος του μετωπικού κύματος που εκπέμπεται στην έξοδο της συσκευής.



Σχήμα 6.1.1: Μετωπικό κύμα κωνικής χοάνης (αριστερά) και χοάνης σταθερής κατευθυντικότητας (δεξιά).

Στο σχήμα 6.1.1 αριστερά είναι μία κωνική χοάνη και δεξιά μία χοάνη σταθερής κατευθυντικότητας. Παρατηρώντας το σχήμα διαπιστώνεται πως το μετωπικό κύμα που εκπέμπεται από μία χοάνη είναι αποτέλεσμα της ταυτόχρονης άφιξης όλων των πιθανών διαδρομών στην έξοδο του κυματοδηγού. Τα δύο αυτά παραδείγματα που φαίνονται παραπάνω προφανώς δεν μπορούν να τηρήσουν τον 5^ο κανόνα.



Σχήμα 6.1.2: Κυματοδηγός DOSC – εσωτερικό τμήμα

Ο κυματοδηγός DOSC (σχήμα 6.1.2) λειτουργεί ως ένα εξάρτημα χρονικού συντονισμού, καθυστερώντας κάθε πιθανή διαδρομή στο εσωτερικό του κυματοδηγού έτσι ώστε να φτάσουν την ίδια στιγμή στην παραλληλόγραμμη έξοδο της συσκευής. Το εσωτερικό τμήμα είναι ένα κωνικό κομμάτι σχήματος “tomahawk”. Το εξάρτημα και το περίβλημα είναι κατασκευασμένα με λεπτομερή προσέγγιση σύμφωνα με τη ακριβή σχετικότητα μεταξύ βάθους, ύψους και κωνικής γωνίας με σκοπό να επιτευχθεί η εκπομπή ενός επίπεδου μετωπικού κύματος. Με σκοπό την παρασκευή του κυματοδηγού DOSC και σε συνδυασμό με τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων σχεδιασμού τύπου (CAD/CAM), έχουν επιτευχθεί σκληρές κατασκευαστικές αντοχές. Σύμφωνα με τον 5^ο κανόνα-προϋπόθεση σωστής λειτουργίας ενός line array, η απόκλιση του μετωπικού κύματος πρέπει να είναι μικρότερη του $\lambda/4$ της υψηλότερης συχνότητας λειτουργίας του συστήματος, κάτι που αντιστοιχεί σε καμπύλωση μικρότερη των 5mm για τα 16kHz. Μέσω πειραμάτων έχει αποδειχθεί πως ο κυματοδηγός DOSC στα 16kHz έχει απόκλιση μικρότερη των 4mm.

6.1.2 Κυματοδηγός K-LOUVER

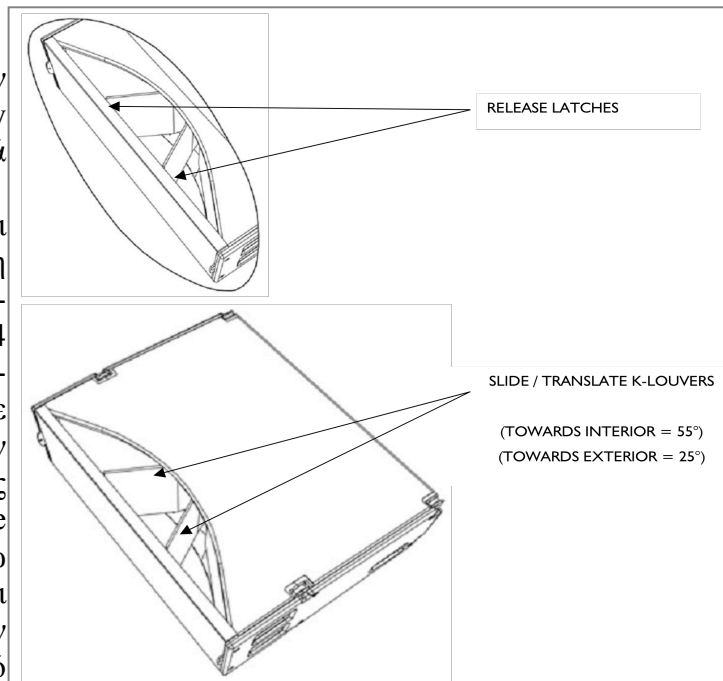
Το 2005 η L-Acoustics με την έκδοση ενός καινούργιου line array (KUDO) εφάρμοσε για πρώτη φορά την καινούργια της πατέντα.

Το K-Louver (σχήμα 6.1.3) είναι ένας κυματοδηγός που προσφέρει τη δυνατότητα διαμόρφωσης της λειτουργίας της καμπίνας, δίνοντας 4 διαφορετικές ρυθμίσεις κατευθυντικότητας. Αυτό πραγματοποιείται με μηχανικό χειρισμό και επιτρέπει την εξωτερική αναδιαμόρφωση της κατευθυντικότητας του εκάστοτε line array συστήματος για συχνότητες άνω των 800Hz. Όπως είναι γνωστό οι Mid/High συχνότητες έχουν συγκεντρωμένη ενέργεια, γι' αυτό προκαλείται εντασιακή διαφορά μεταξύ της on-axis έντασης και της έντασης στις 50° που θεωρείται ένταση αναφοράς. Οπότε υπάρχει επιπλέον μία επιλογή εξασθένησης της στάθμης κατά -1 dB και -2dB (της στάθμης αναφοράς) για τη ρύθμιση κατευθυντικότητας των 80° και των 110° αντίστοιχα.

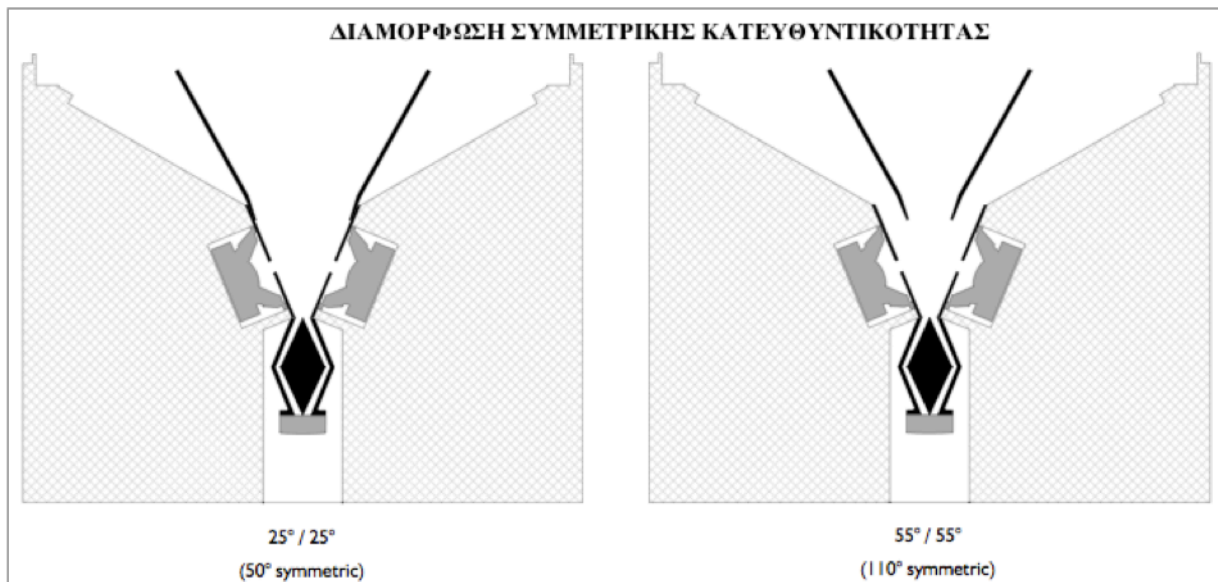
Στα σχήματα φαίνεται εικονικά η επιλογή κατευθυντικότητας του K-LOUVER. Η διαμόρφωση για κάθε πλευρά είναι ανεξάρτητη, οπότε μπορεί είτε να είναι συμμετρική (σχήμα 6.1.4) είτε ασύμμετρη (σχήμα 6.1.5).

Στ' αριστερά του σχήματος 6.1.4 έχει ρυθμιστεί κατευθυντικότητα 25° για κάθε πλευρά, άρα 50° συμμετρικής κατευθυντικότητας στο σύνολο. Αντίστοιχα στα δεξιά έχει ρυθμιστεί στις 55° για κάθε πλευρά, άρα 110° συμμετρικής κατευθυντικότητας στο σύνολο.

Στ' αριστερά του σχήματος 6.1.5 η κατευθυντικότητα έχει μοιραστεί στις 25° η αριστερή και στις 55° η δεξιά πλευρά, με αποτέλεσμα 80° κατευθυντικότητας ασύμμετρη προς τα δεξιά. Αντίστροφα στο δεξί σχήμα η κατευθυντικότητα έχει μοιραστεί στις 55° η αριστερή και στις 25° η δεξιά πλευρά, με αποτέλεσμα 80° κατευθυντικότητας ασύμμετρης προς τ' αριστερά.

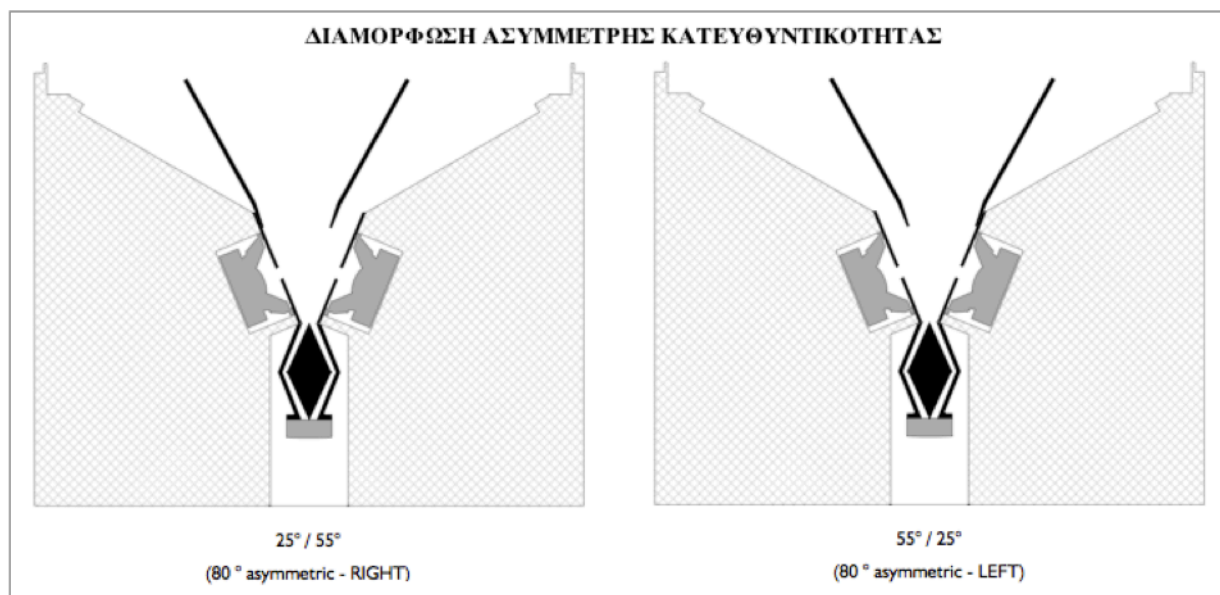


Σχήμα 6.1.3: K-Louver



Σχήμα 6.1.4: Διαμόρφωση συμμετρικής κατευθυντικότητας του K-LOUVER.

Η δυνατότητα διαμόρφωσης των γωνιών κάλυψης της συνολικής κατευθυντικότητας ενός line array συστήματος διαμορφώνεται μέσω της ρύθμισης του K-Louver καθώς και μέσω του τρόπου τοποθέτησης των καμπινών, εφόσον στο K-Louver, οι καμπίνες μπορούν να τοποθετηθούν είτε κάθετα είτε οριζόντια, ελέγχοντας αντίστοιχα την εκάστοτε συνολική κατευθυντικότητα του συστήματος.

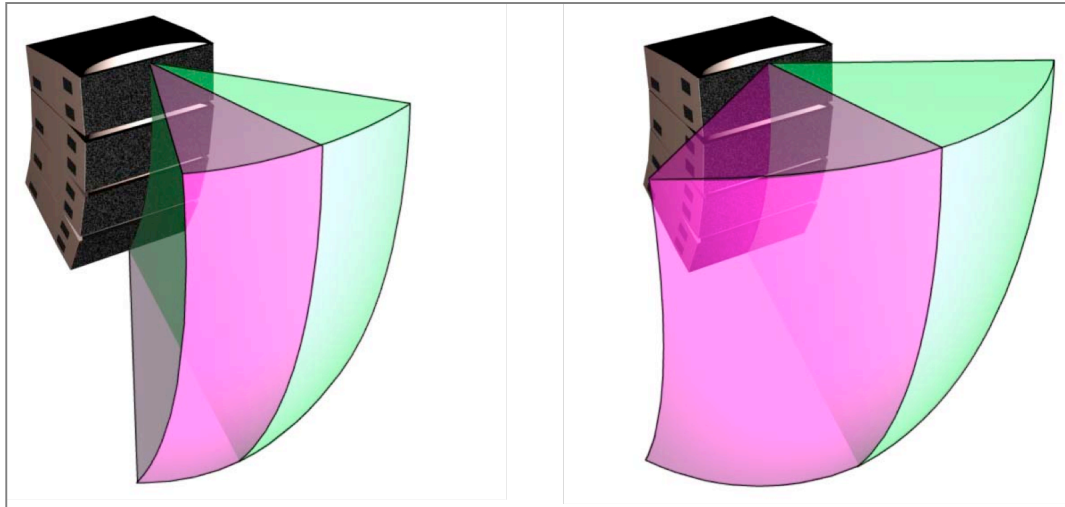


Σχήμα 6.1.5: Διαμόρφωση ασύμμετρης κατευθυντικότητας του K-LOUVER.

6.1.3 Ρύθμιση Κάλυψης για Κάθετη Τοποθέτηση

Στην περίπτωση που οι καμπίνες στοιβαχτούν κάθετα (η μία πάνω στην άλλη), οι γωνίες ανάμεσα στις καμπίνες κυμαίνονται από 0° ως 10° με ανάλυση στη 1° και ορίζουν την κάθετη κάλυψη. Η οριζόντια μπορεί να ρυθμιστεί ως εξής: 50° (συμμετρικό), 110°

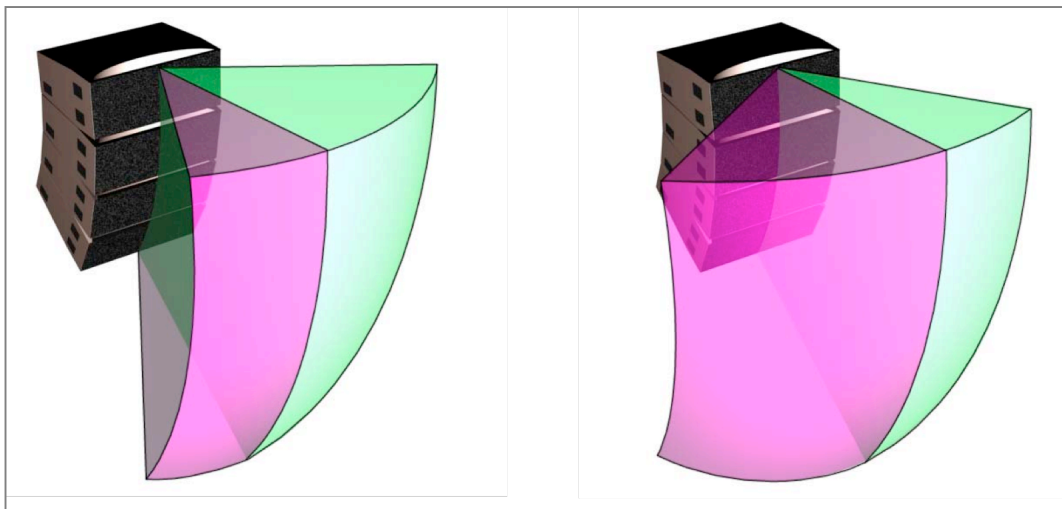
(συμμετρικό), $25^\circ \times 55^\circ$ (ασύμμετρο – δεξιά) ή $55^\circ \times 25^\circ$ (ασύμμετρο – αριστερά). Τα αποτελέσματα στην απόκριση του φαίνονται στα σχήματα από 6.1.6 και 6.1.7.



Σχήμα 6.1.6:

4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 $25^\circ \times 25^\circ$ οριζόντια = 50° συμμετρικό

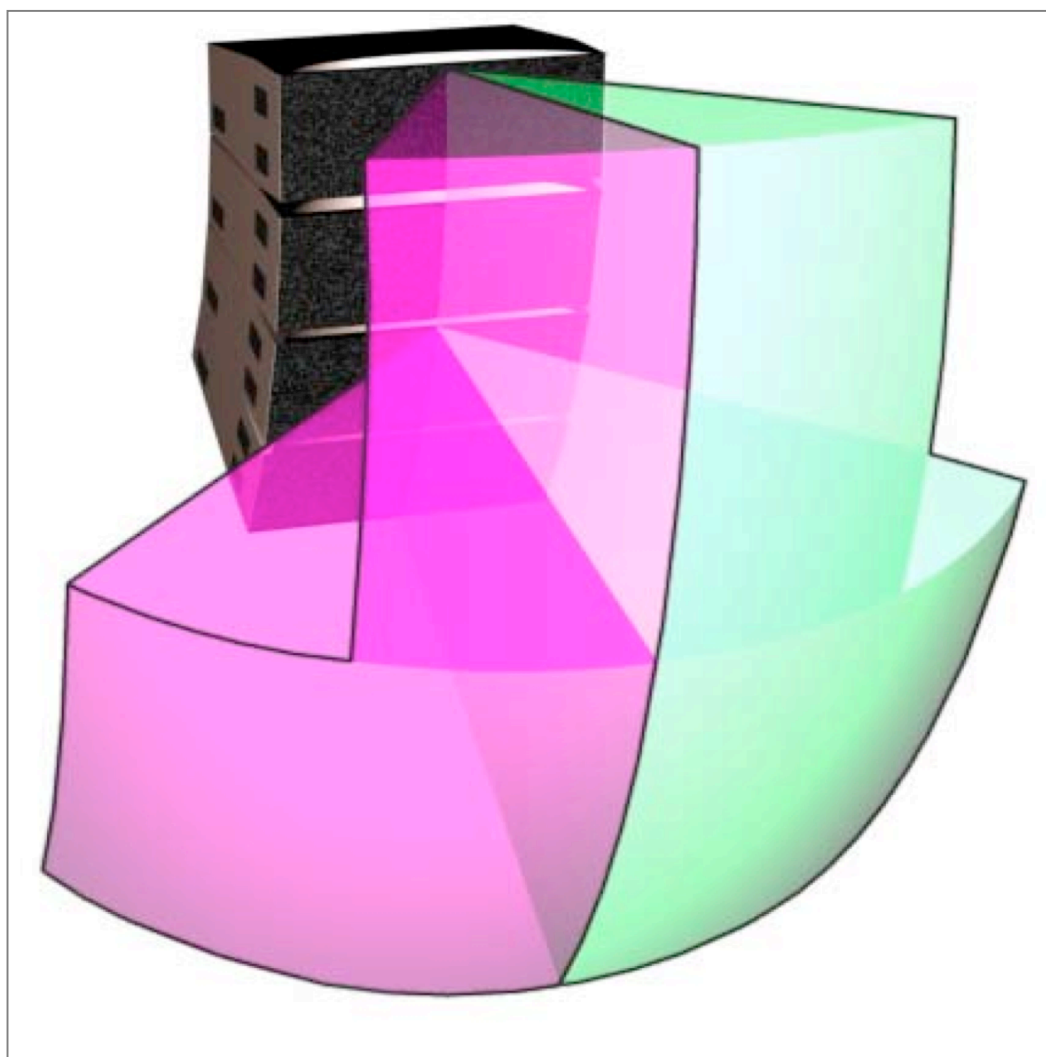
4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 $55^\circ \times 55^\circ$ οριζόντια = 110° συμμετρικό



Σχήμα 6.1.7:

4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά) 4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 $25^\circ \times 55^\circ$ οριζόντια ασύμμετρο – δεξιά, $55^\circ \times 25^\circ$ οριζόντια ασύμμετρο – αριστερά

Με αυτή τη λογική το line array της τεχνολογίας του K-Louver μπορεί να δουλεύει με ίδια κάθετη γωνία για όλες τις καμπίνες αλλά με ξεχωριστή οριζόντια ρύθμιση για κάθε μία. Έτσι ο χειριστής μπορεί να ρυθμίζει την κάλυψη της συστοιχίας αναλόγως της γεωμετρικής ιδιότητας του ακροατηρίου και του εκάστοτε χώρου. Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα (6.1.8) οι δύο πάνω καμπίνες (1 και 2) είναι ρυθμισμένες στις $25^\circ \times 25^\circ$ συμμετρικά ενώ οι δύο κάτω (3 και 4) είναι ρυθμισμένες στις $55^\circ \times 55^\circ$.



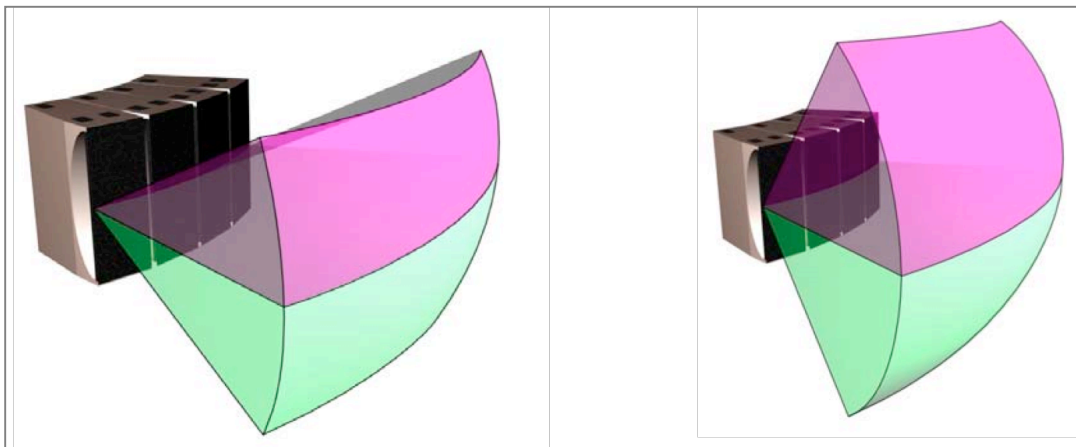
Σχήμα 6.1.8:

4 KUDDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 $25^\circ \times 25^\circ$ (KUDDO καμπίνες 1,2)
 $55^\circ \times 55^\circ$ (KUDDO καμπίνες 3,4)

6.1.4 Ρύθμιση Κάλυψης για Οριζόντια Τοποθέτηση

Στην περίπτωση που οι καμπίνες στοιβαχτούν οριζόντια (η μία δίπλα στην άλλη), οι εσωτερικές γωνίες της κάθε καμπίνας ρυθμίζονται στις 10° και η οριζόντια κάλυψη ορίζεται έως: $10^\circ \times N$ (όπου N ο αριθμός των καμπίνων). Η κάθετη κάλυψη ορίζεται από τις αντίστοιχες επιλογές: 50° (συμμετρικό), 110° (συμμετρικό), $25^\circ \times 55^\circ$ (ασύμμετρο – κάτω) ή $55^\circ \times 25^\circ$ (ασύμμετρο – πάνω). Τα αποτελέσματα στην απόκριση του φαίνονται στο σχήμα 6.1.9.

Το συμπέρασμα είναι ότι η L-Acoustics με τον κυματοδηγό V-DOSC κατάφερε να παράγει μετωπικό κύμα που να πληρεί τους κανόνες σωστής λειτουργίας ενός line array συστήματος και με την πατέντα K-Louver κατάφερε να πετύχει ελεγχόμενη κατευθυντικότητα για συχνότητες πάνω των 800Hz. Αυτή τη στιγμή όλα τα line array της L-Acoustics (V-DOSC, dV-DOSC, KUDO, K1, KILO, KIVA, KARA) λειτουργούν χρησιμοποιώντας κάποιους απ' αυτούς ή και τους δύο κυματοδηγούς.



Σχήμα 6.1.9:

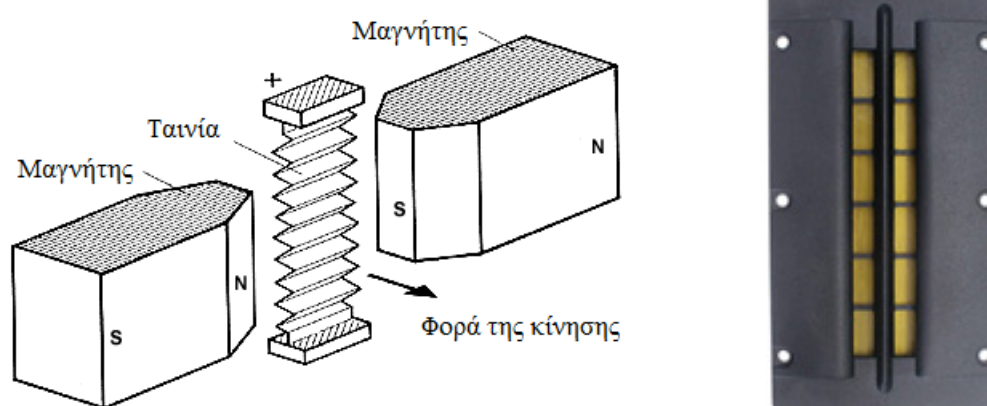
4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 25° (πάνω) x 55° (κάτω)

4 KUDO = 40° κάθετα (ονομαστικά)
 55° (πάνω) x 25° (κάτω)

6.2 MEYER SOUND

Η Meyer Sound Laboratories είναι μία Αμερικάνικη εταιρία που ιδρύθηκε το 1979 και κατασκεύασε το πρώτο line array σύστημα (M3D) το 2001. Το 2004 πρωτοπαρουσίασε τον κυματοδηγό REM (Ribbon Emulation Manifold). Πάνω σ' αυτόν τον κυματοδηγό βασίστηκε και ο τρόπος λειτουργίας, για τις υψηλές συχνότητες, των επόμενων συστημάτων της. Προτού γίνει αναφορά στον REM κυματοδηγό, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στον τρόπο λειτουργίας και στα χαρακτηριστικά ενός ribbon tweeter, εφόσον ο REM ένας πολλαπλός κυματοδηγός προσομοίωσης ενός ribbon tweeter.

6.2.1 Ribbon Tweeter



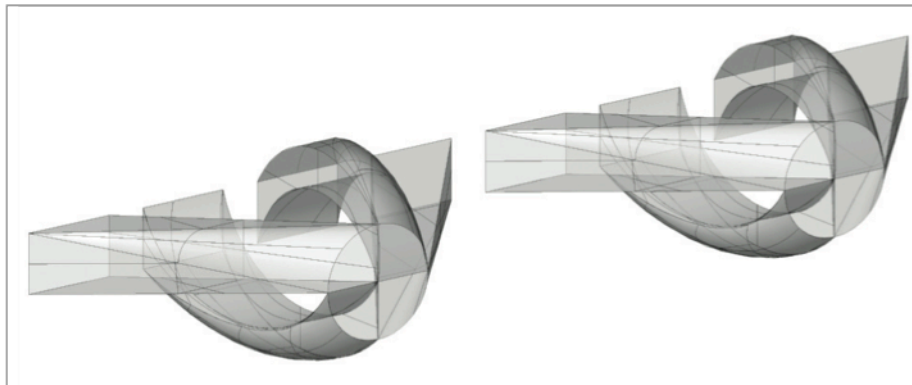
Σχήμα 6.2.1: ribbon tweeter (αριστερά) και ένα ribbon tweeter (δεξιά).

Το ribbon tweeter για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου αντί για πηνίο (οδηγός πηνίου), όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2.1 αριστερά, χρησιμοποιεί μία ταινία (συνήθως αλουμινίου). Η ταινία επειδή είναι ένα πολύ λεπτό και ελαφρύ υλικό αντιδρά σε πολύ γρήγορες δονήσεις, κάτι που επιτρέπει στο ribbon tweeter να αναπαράγει αξιόπιστα υψηλές συχνότητες που μπορούν να ξεπερνούν και τα 30kHz. Επίσης, κατά την πλειονότητα, τα ribbon tweeter έχουν αρκετά διευρυμένη οριζόντια κάλυψη και αρκετά στενή κάθετη κάλυψη, κάτι που είναι επιθυμητό για την υλοποίηση ενός line array συστήματος. Λόγω όμως των μεγάλων αποστάσεων των μαγνητών που χρησιμοποιούν σε όχι πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο, αλλά και της περιορισμένης αντοχής της ταινίας, τα ribbon tweeter δεν μπορούν να αναπαράγουν πολύ μεγάλες εντάσεις. Στο σχήμα 6.2.1 δεξιά φαίνεται ένα εργοστασιακό ribbon tweeter.

6.2.2 Κυματοδηγός REM

Ο κυματοδηγός REM (Ribbon Emulation Manifold) εφευρέθηκε απ' τους John D. Meyer, Perrin Meyer και Richard D. Herr και είναι μία παγκοσμίως αναγνωρισμένη πατέντα. Ο REM κυματοδηγός ουσιαστικά είναι ένας πολλαπλός κυματοδηγός προσομοίωσης ενός κυματοδηγού ταινίας ή πιο συγκεκριμένα, ενός ribbon tweeter. Το αποτέλεσμα είναι μία πολύ στενή διασπορά στον κάθετο άξονα και πολύ διευρυμένη στον οριζόντιο. Με αυτά τα χαρακτηριστικά αυτή η διασπορά ταιριάζει με την αντίστοιχα στενή στον κάθετο και διευρυμένη στον οριζόντιο άξονα διασπορά που δημιουργείται από τη συστοιχία των Low-Mid οδηγών και έτσι το σύστημα ακτινοβολεί ομοιόμορφα σε όλο το συχνοτικό φάσμα. Η στενή κάθετη κατευθυντικότητα είναι απαραίτητη, για να ταιριάζουν οι γειτονικές καμπίνες

του συστήματος σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην προκληθούν ανεπιθύμητες συμβολές στο πεδίο κάλυψης του ακροατηρίου.



6.2.3

Σχήμα 6.2.2: Κυματοδηγός REM

Εφαρμογή και Υλοποίηση

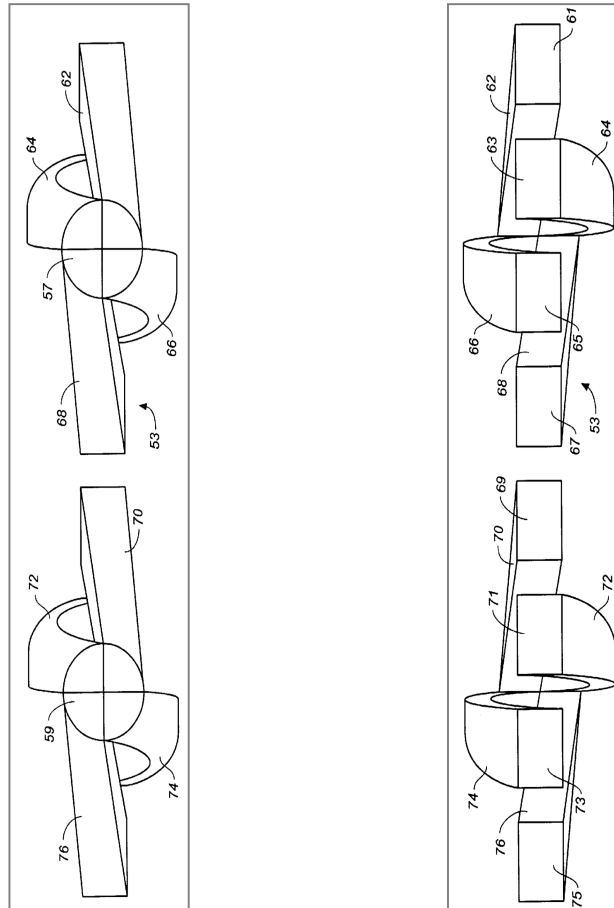
Ο οδηγός συμπίεσης παρόλο που δεν έχει τις επιθυμητές κατευθυντικές ιδιότητες του οδηγού ταινίας, είναι πιο ανθεκτικός και μπορεί να αναπαράγει μεγάλες ηχητικές στάθμες πίεσης με μικρή παραμόρφωση. Έτσι λοιπόν χρησιμοποιήθηκε ένας συνηθισμένος οδηγός συμπίεσης που να μπορεί να παράγει τα επιθυμητά dB SPL και πάνω σε αυτόν προσομοιώθηκε ο κυματοδηγός REM (σχ. 6.2.2).

Όλοι οι οδηγοί συμπίεσης που είναι κατασκευασμένοι απ' τη Meyer Sound έχουν έξοδο (λαιμό) κυκλικού σχήματος. Δύο τέτοιες κυκλικές εξόδους των οδηγών εφάπτονται με δύο REM κυματοδηγούς και εκεί χωρίζονται σε οχτώ ξεχωριστούς κυματοδηγούς, όπου κάθε ένας οδηγείται σε ένα ξεχωριστό άνοιγμα (σχήμα 6.2.3 δεξιά: 61,63,65,67 και 69,71,73,75), και όλοι μαζί οδηγούνται από ένα κυματοδηγό χοάνης με σκοπό να τελειοποιηθεί μία στενή κάθετη κάλυψη και μία διευρυμένη οριζόντια κάλυψη. Το αποτέλεσμα είναι η απόκριση της καμπίνας να δίνει μία επιθυμητά στενή κάθετη κάλυψη.

6.2.4 Τρόπος Λειτουργίας του REM κυματοδηγού

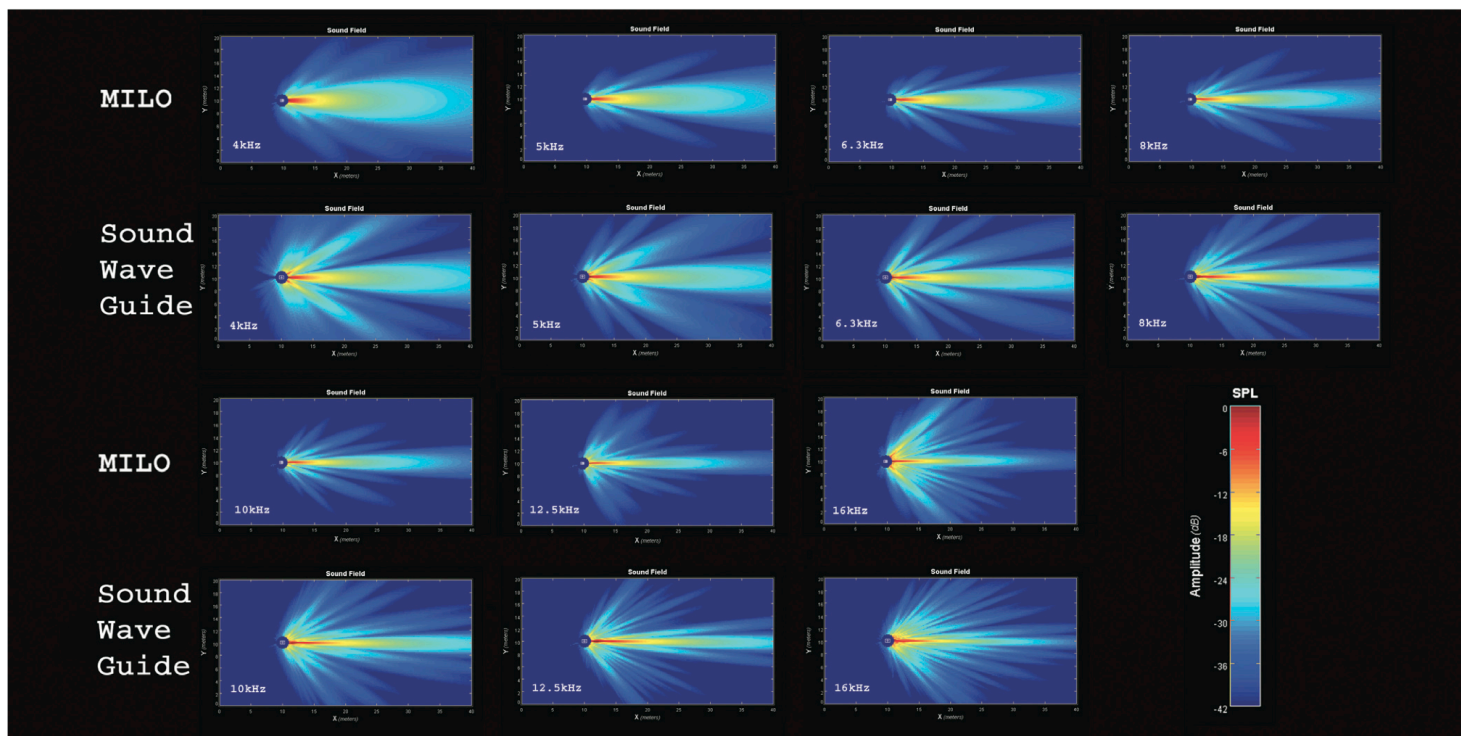
Τα ανοίγματα (τρύπες) της εξόδου του κυματοδηγού REM (σχήμα 6.2.3 δεξιά), είναι κάθετα παρατεταγμένα σε μία σειρά. Η απόσταση μεταξύ αυτών των ανοιγμάτων είναι πολύ μικρή και για συχνότητες των οποίων το μήκος κύματος είναι μικρότερο σε σχέση με το μήκος του κυματοδηγού οι πολλαπλές εξόδους παράγουν μία στενή κάθετη κατευθυντικότητα. Με σκοπό όλες οι εξόδους του κυματοδηγού να λειτουργούν ισοφασικά, το μήκος και το σχήμα κάθε διαδρομής είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να οδηγεί το ηχητικό κύμα σε ίσο χρόνο στην κάθε έξοδο. Για αυτό το λόγο όλες οι διαδρομές (2x4) έχουν την ίδια απόσταση από την θέση του λαιμού του οδηγού συμπίεσης μέχρι την έξοδο του κάθε ανοίγματος. Ο κυματοδηγός χοάνης που τοποθετείται μετά τον κυματοδηγό REM είναι εκθετικής καμπύλωσης καθώς μία γραμμική χοάνη δεν είναι το ίδιο αποτελεσματική στη δημιουργία ισοφασικού ηχητικού κύματος σε σχέση με μία χοάνη εκθετικής καμπύλωσης. Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας στην δημιουργία ισοφασικού μέτωπου κύματος είναι ο περιορισμός του μήκους του κυματοδηγού καθώς όσο αυξάνεται το μήκος ενός κυματοδηγού, τόσο αυτός αυξάνει την αρχική παραμόρφωση εισόδου. Από την άλλη πλευρά ένας κυματοδηγός μεγάλου μήκους συνεισφέρει στην επίτευξη στενής κατευθυντικότητας. Ο κυματοδηγός REM είναι ένας απ' τους μικρότερους κυματοδηγούς που κυκλοφορούν και επιτυγχάνει

αποτελεσματικά στενή κατευθυντικότητα. Επίσης πέραν του μικρού μήκους, ο διαχωρισμός του κυματοδηγού σε τέσσερις διαδρομές, έχει γίνει επίσης με σκοπό την ισοφασική εκπομπή του ηχητικού κύματος. Στα σχήματα 6.2.2 και 6.2.3 φαίνεται ένα ζευγάρι κυματοδηγών REM.



Σχήμα 6.2.3: Μπροστινή και οπίσθια όψη κυματοδηγού REM

Στο σχήμα 6.2.4 φαίνονται οι κάθετες κατευθυντικές αποκρίσεις για διάφορες συχνότητες, ενός μεγαφώνου του MILO (συστήματος line array της Meyer Sound) και γίνεται σύγκρισή του με έναν απλό κυματοδηγό. Οι μετρήσεις έγιναν σε ανηχοϊκό θάλαμο της Meyer Sound και με τη χρήση του προγράμματος MAPP Online πάρθηκαν τιμές ανά 1° για το σύνολο των 360°. Το μικρόφωνο τοποθετήθηκε σε 4m απόσταση από το κέντρο των καμπίων, όπου ήταν και το σημείο της περιστροφής. Οι μετρήσεις γίνανε για συχνότητες από 4kHz ως και 16kHz. Το MILO αποτελείται από 3 κυματοδηγούς REM οι οποίοι οδηγούνται από τρεις M3D οδηγούς συμπίεσης (compression driver) διαφράγματος νεοδυμίου διαμέτρου 2". Η σύγκριση γίνεται με έναν συμβατικό κυματοδηγό (sound wave guide) όπου μετρήθηκε κάτω απ' τις ίδιες συνθήκες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2.4 και οι δύο κυματοδηγοί είχαν θετικά αποτελέσματα στη δημιουργία στενής κάθετης κατευθυντικότητας και εκτός από τη συχνότητα των 16kHz, ο κυματοδηγός REM παράγει πιο στενή κατευθυντικότητα από τον συμβατό κυματοδηγό.



Σχήμα 6.2.4: Σύγκριση κάθετων κατευθυντικών αποκρίσεων.

6.2.5 «Διπλός» Κυματοδηγός REM

Σε κάποια συστήματα της Meyer χρησιμοποιείται ένας «διπλός» κυματοδηγός REM που λειτουργεί ξεχωριστά για Mid-High (560 Hz – 4.2 kHz) και για High (4.2 kHz – 18 kHz) συχνότητες. Για τις Mid-High συχνότητες χρησιμοποιείται ένας οδηγός συμπίεσης διαφράγματος 4" και εξόδου 1.5" (σχήμα 6.2.5 γ, δεξιά) ο οποίος εφαρμόζεται σε ένα κυματοδηγό REM (σχήμα 6.2.5 α, αριστερά). Από τις τέσσερις εξόδους του REM το σήμα οδηγείται στον αντίστοιχο κυματοδηγό χαάνης σταθερής κατευθυντικότητας (σχήμα 6.2.5 β, αριστερά). Για τις High συχνότητες χρησιμοποιούνται 3 οδηγοί συμπίεσης διαφράγματος 2" και εξόδου 0,75" (σχήμα 6.2.5 γ, αριστερά) οι οποίοι εφαρμόζονται σε στις τρεις εισόδους ενός κυματοδηγού REM (σχήμα 6.2.5 α, δεξιά). Από τις δώδεκα εξόδους του REM το σήμα οδηγείται στον αντίστοιχο κυματοδηγό χαάνης σταθερής κατευθυντικότητας (σχήμα 6.2.5 β, δεξιά).

Σε αυτή την περίπτωση ο κυματοδηγός REM των High συχνοτήτων έχει τρεις εισόδους και δώδεκα εξόδους όπου η απόσταση μεταξύ των εξόδων (τρύπες) είναι μικρότερη απ' ό τι ήταν στον πρώτο κυματοδηγό του σχήματος 6.2.2. Το αποτέλεσμα είναι να μικρύνει το **b**, το οποίο αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ των ακουστικών κέντρων δύο γειτονικών πηγών. Χρησιμοποιώντας και τον κυματοδηγό χαάνης ελέγχεται ακόμα καλύτερα η κατευθυντικότητα του παραγόμενου ηχητικού κύματος (σχήμα 6.2.5 β, δεξιά). Έτσι αυξάνεται το άνω συχνοτικό όριο που ακολουθεί την θεωρία των line source arrays. Γενικότερα η συχνοτική απόκριση του M3D που χρησιμοποιεί τον κυματοδηγό REM του σχήματος 6.2.2 είναι 42Hz-16kHz±4dB ενώ του MILO που χρησιμοποιεί τον «διπλό» κυματοδηγό REM του σχήματος 6.2.5 είναι 42Hz-17,5kHz±4dB.



Σχήμα 6.2.5: α) Κυματοηγοί REM για Mid-High και High συχνότητες.
 β) Αντίστοιχες χοάνες σταθερής κατευθυντικότητας.
 γ) Χοάνες μαζί με τους αντίστοιχους οδηγούς συμπίεσης.

Τα line arrays της Meyer ονομάζονται curvilinear arrays, δηλαδή είναι συστήματα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα με προτεραιότητα τις κυρτές τοποθετήσεις. Με την εφαρμογή του κυματοηγοί REM σε αυτά τα συστήματα, η Meyer Sound κατάφερε να φέρει αποτελεσματική εξέλιξη στην κατευθυντικότητα των υψηλών συχνοτήτων. Βασικά curvilinear arrays της MEYER είναι το MILO, το MICA, το MELODIE, το MINA και το MID.

6.3 NEXO

Η Nexo είναι μία Γαλλική εταιρία που ιδρύθηκε στο Παρίσι το 1979 από τον Eric Vincenot και τον Michael Johnson. Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα παρουσίασε την τεχνολογία του GEO Tangent μαζί με μία σειρά από συσκευές με σκοπό την κατασκευή ενός αποτελεσματικού, συχνοτικά και εντασιακά, line array συστήματος. Η χρήση τριών συσκευών αποτελούν τη βάση για την εκπλήρωση αυτού του στόχου και αυτές οι συσκευές είναι οι εξής:

Το Hyperboloid Reflective Wavesource (HRW TM), το Directivity Phase Device και το Configurable Directivity Device.

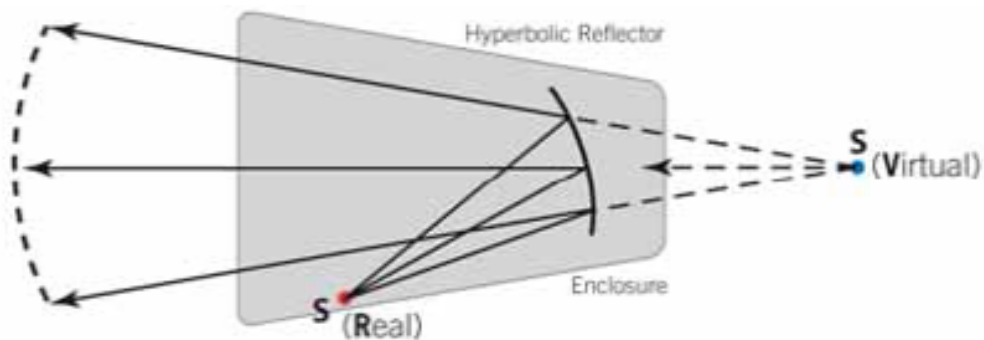
6.3.1 Hyperbolic Reflective Wavesource (H.R.W.)

Ο Hyperbolic Reflective Wavesource (σχήματα 6.3.1 και 6.3.2) ουσιαστικά είναι ένας κυματοδηγός που λειτουργεί με έναν ανακλαστήρα (καθρέφτης ηχητικών κυμάτων) τοποθετημένο με κλίση όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3.1 Αυτός ο καθρέφτης είναι μαθηματικά σχεδιασμένος (από μια αυστηρή σειρά γεωμετρικών μετασχηματισμών), για να ελέγχει κατευθυντικά την ηχητική ενέργεια. Ο ανακλαστήρας (σχήμα 6.3.1) «δημιουργεί» μια εικονική ηχητική πηγή η οποία βρίσκεται σε ευθεία πίσω απ' την καμπίνα στο σημείο S (Virtual).

Η τοποθέτηση της αληθινής πηγής (οδηγός συμπίεσης) γίνεται έτσι ώστε η απόσταση από την έξοδο του οδηγού συμπίεσης (S Real) προς κάθε σημείο του καθρέπτη, να είναι ίση με την απόσταση από την εικονική πηγή (S Virtual) προς το αντίστοιχο σημείο του καθρέπτη.

Οπότε υπάρχει μία ελευθερία επιλογής της τοποθέτησης του οδηγού συμπίεσης εντός της καμπίνας η οποία εξαρτάται από την κλίση του καθρέπτη και την τήρηση του παραπάνω κανόνα (ίσων αποστάσεων).

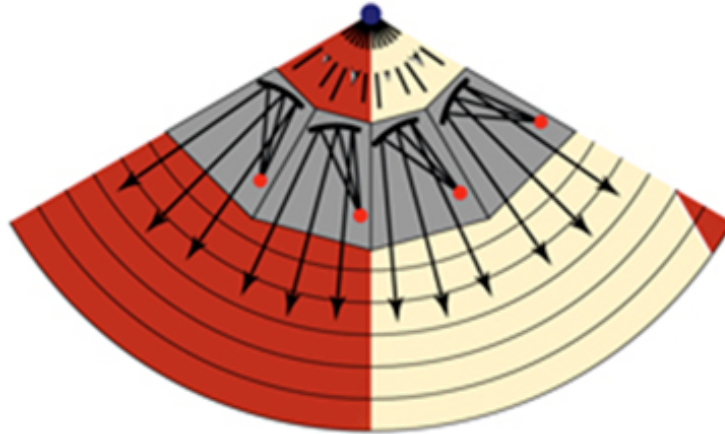
Με την προϋπόθεση ότι ισχύει αυτός ο κανόνας, ο χρόνος διαδρομής μεταξύ Real και Virtual Source είναι ίδιος και το αποτέλεσμα θα είναι το μετωπικό κύμα να εκπέμπεται σε φάση. Αυτή η συσκευή παράγει μία ελεγχόμενη κατευθυντικότητα για κάθε καμπίνα ακρίβειας 0.01° και έτσι προσφέρει μία ομαλή ένωση των μετωπικών κυμάτων των γειτονικών καμινών (σχήμα 6.3.3). Οι H.R.W. χρησιμοποιούνται από τα συστήματα GEO της NEXO και οδηγούνται από οδηγούς συμπίεσης 1" και 1,4" (διάμετρος διαφράγματος).



Σχήμα 6.3.1: Η Hyperbolic Reflective Wavesource της NEXO.



Σχήμα 6.3.2: Ο H.R.W. της NEXO με τον οδηγό συμπίεσης (αριστερά) και χωρίς (δεξιά).



Σχήμα 6.3.3: Τέσσερις στοιχισμένες καμπίνες που χρησιμοποιούν την HRW της NEXO.

6.3.2 Directivity Phase Device (D.P.D)

Λαμβάνοντας υπόψιν τις φυσικές διαστάσεις των μεγαφώνων, είναι αδύνατο οι υψηλές συχνότητες που αναπαράγονται από αυτά να ακολουθήσουν την θεωρία του Olson. Μία συσκευή της NEXO είναι το Directivity Phase Device με την οποία αυξάνεται το άνω συχνοτικό όριο που ακολουθεί τον 1^ο κανόνα (παράγραφος 3.2). Στην περίπτωση του μοντέλου GEO S τα woofer είναι 8" και χρησιμοποιώντας το D.P.D. (σχήμα 6.3.4 αριστερά), το οποίο κουμπώνει μπροστά στο μεγάφωνο, το συγκεκριμένο μεγάφωνο λειτουργεί σαν δύο ίδια woofer 4" με δύο ακουστικά κέντρα σε απόσταση 5". Οπότε μειώνοντας την απόσταση μεταξύ των ακουστικών κέντρων των ηχητικών πηγών (**b**) αυξάνεται η συχνότητα αποτελεσματικής λειτουργίας του woofer. Ομοίως στην περίπτωση του μοντέλου GEO T τα woofer είναι 10" και χρησιμοποιείται η συσκευή που φαίνεται στο σχήμα 6.3.4 δεξιά, η οποία είναι ενσωματωμένη με την καμπίνα. Το D.P.D. δεν προκαλεί ανεπιθύμητες απώλειες ισχύος και επίσης δεν επηρεάζει το όριο της χαμηλότερης συχνότητας λειτουργίας του woofer.

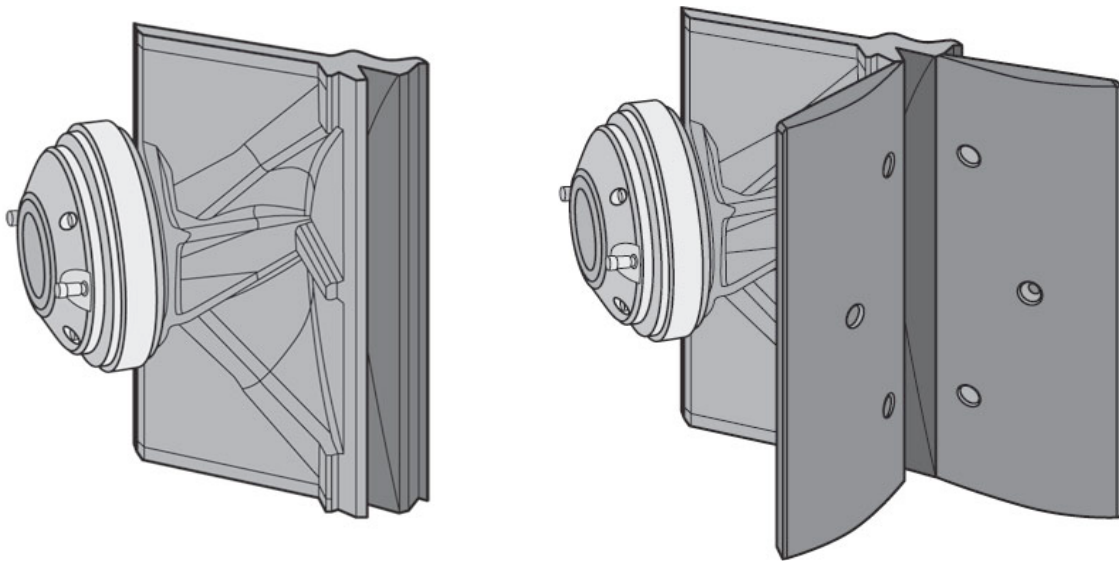


Σχήμα 6.3.4: Η Directivity Phase Device του GEO S (δεξιά) και του GEO T (αριστερά).

6.3.3 Configurable Directivity Device (C.D.D)

Η τελευταία συσκευή που χρησιμοποιείται στα line array συστήματα της NEXO είναι η Configurable Directivity Device, η οποία επιτρέπει στο χειριστή του συστήματος να διαμορφώνει την κατευθυντικότητα του μετωπικού κύματος του συστήματος. Ουσιαστικά είναι δύο αφαιρούμενα πτερύγια, που εφαρμόζονται πάνω στον H.R.W..

Το C.D.D. εφαρμόζεται στη σειρά GEO S και τα μοντέλα έχουν επιλογή στη γωνία οριζόντιας κάλυψης είτε στις 80° (χωρίς τη συσκευή) είτε στις 120° (με τη συσκευή). Στο σχήμα 6.3.5 αριστερά είναι ο H.R.W. και στα δεξιά είναι ο H.R.W. μαζί με τη C.D.D..



Σχήμα 6.3.5: Το HRW μόνος (αριστερά) και μαζί με το CDD (δεξιά).

Ο συνδυασμός των παραπάνω συσκευών είναι η βάση λειτουργίας των line array συστημάτων της NEXO και σκοπεύει στην αποτελεσματική ηχητική κάλυψη του εκάστοτε ακροατηρίου. Τα βασικά line array συστήματα είναι τα GEO S, GEO D και GEO T όπου κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από τις ανάλογες καμπίνες που χρησιμοποιεί.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα σχετικά με τα line array συστήματα. Κατ' αρχήν η θεωρία του Olson που μιλάει για άπειρες σημειακές πηγές σε μηδενική μεταξύ τους απόσταση, δημιουργώντας μία γραμμική πηγή απ' την οποία εκπέμπεται ένα κυλινδρικό κύμα, δεν μπορεί να υλοποιηθεί ολοκληρωτικά. Παρόλα αυτά με την εφαρμογή της θεωρίας των line array (βάση με την οποία κατασκευάζονται και τοποθετούνται τα συστήματα), κάποια από αυτά είναι ικανά να αναπαράγουν κυλινδρικά κύματα σε μεγάλο μέρος του συχνοτικού φάσματος, με εξαίρεση τα άκρα (υψηλές και χαμηλές συχνότητες).

Βασικό συμπέρασμα λοιπόν είναι πως τα line array είναι υβριδικά συστήματα. Για τις χαμηλές συχνότητες, εφόσον δεν μπορεί να εφαρμοστεί η θεωρία, χρησιμοποιείται η αρχή λειτουργίας των συμβατικών συστημάτων. Επίσης στις υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται ειδικοί κυματοδηγοί χοάνης που επιφέρουν αρκετά θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την κατευθυντικότητα του συστήματος.

Η εντασιακή κάλυψη και η συχνοτική απόκριση των line array στο κοντινό πεδίο είναι περίπλοκη. Όσον αφορά την εντασιακή κάλυψη του χώρου και την θεωρία που αναφέρει ότι σε ένα line array σύστημα έχουμε μείωση 3dB ανά διπλασιασμό της απόστασης σε ανοιχτό χώρο στο κοντινό πεδίο εφόσον η κρίσιμη απόσταση, που χωρίζει τα δύο πεδία, εξαρτάται απ' τη συχνότητα και το μήκος της συστοιχίας αυτό δεν είναι απόλυτα εφικτό. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος του κοντινού πεδίου αλλάζει για κάθε σύστημα και για κάθε συχνότητα του εκάστοτε συστήματος. Όσον αφορά την συχνοτική απόκριση ενός line array συστήματος όταν ο ακροατής βρίσκεται στο κοντινό πεδίο τότε θα είναι on-axis μόνο από κάποιους οδηγούς υψηλών συχνοτήτων και όχι από όλους (ο αριθμός των οδηγών υψηλών συχνοτήτων εξαρτάται από την θέση ακρόασης). Παρόλα αυτά θα ακτινοβολείται εξίσου και από όλες τις καμπίνες των χαμηλών συχνοτήτων. Αυτή η ανομοιογένεια προκύπτει λόγω της αυξημένης κατευθυντικότητας των υψηλών συχνοτήτων. Στο μακρινό πεδίο λόγω της απορρόφησης του αέρα υπάρχει απώλεια υψηλών συχνοτήτων. Οπότε στο μακρινό πεδίο θα πρέπει να αναπληρωθεί η ενέργεια που χάνεται λόγω των απωλειών του αέρα, ενώ στο κοντινό πεδίο θα πρέπει να αντισταθμιστεί η αύξηση της ενέργειας των χαμηλών συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους που έχουν να κάνουν είτε με την εγκατάστασή του συστήματος, είτε με ενισχυτική ισοστάθμιση στις υψηλές συχνότητες μέσω του processor που χρησιμοποιεί το εκάστοτε σύστημα ή μέσω του Eq. Επίσης, εφόσον η δημιουργία ενός ιδανικού flat array δεν είναι δυνατή, οι κατασκευαστές προσπαθούν να πετύχουν την πιο ομοιόμορφη εντασιακή κάλυψη σε όλο το συχνοτικό φάσμα, με την κατάλληλη καμπύλωση του συστήματος. Οπότε πέρα απ' το flat array, προκύπτει το curved array, το J-Array και το Spiral array με σκοπό την πιο ομοιογενή εντασιακή κάλυψη του ακροατηρίου. Ενώ τα line array είναι σχεδιασμένα για ένα τρόπο τοποθέτησης (flown), ανάλογα με το χώρο ακρόασης επιλέγεται από τον sound designer η κατάλληλη τοποθέτηση (stacked, flown, hybrid).

Σχετικά με τις τοποθετήσεις, υπάρχουν τύποι line arrays (curvilinear arrays) τα οποία είναι κατασκευασμένα για κυρτές τοποθετήσεις, κάτι που σημαίνει πως αν τοποθετηθούν flat θα προκληθεί πρόβλημα ως προς την ομοιόμορφη συχνοτική κάλυψη στον εκάστοτε χώρο. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως τα line arrays έχουν μία θεωρητική μελέτη αρκετά λεπτομερή απ' την οποία προκύπτει η κατασκευή ενός συστήματος του οποίου τα στοιχεία αν τοποθετηθούν ξεχωριστά ή λανθασμένα, δεν αποδίδουν σωστά. Γι' αυτό ο τεχνικός ήχου για να τοποθετήσει ένα line array, πρώτα πρέπει να μελετήσει τον επιλεγμένο χώρο και έπειτα να διαλέξει το κατάλληλο σύστημα και την κατάλληλη τοποθέτηση και ρύθμισή του. Ενώ η θεωρία του Olson είναι αδύνατο να εφαρμοστεί εξ ολοκλήρου, λόγω της υβριδικής φύσης των line arrays υπάρχει περιθώριο εξέλιξης του τομέα της τεχνολογίας των

χαμηλών και των υψηλών συχνοτήτων. Για τις υψηλές συχνότητες υπάρχει μία σειρά διαφορετικών προσεγγίσεων κατασκευής κυματοδηγών που δεν αποκλείει καινούργιες πατέντες ενώ για τις χαμηλές συχνότητες δεν έχουν γίνει ιδιαίτερες προσπάθειες διαμόρφωσης μίας καινούργιας τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανθης Μιχάλης (2008), *Θεωρητικά Μοντέλα Σειριακών διατάξεων ηχητικών πηγών*, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Παράρτημα Ρεθύμνου «Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής».
- Παναγοπούλου Κατερίνα, *Ηχητική Κάλυψη Συναυλιών*, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Παράρτημα Ρεθύμνου «Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής».
- Σκαρλάτος Δημήτρης, (2003), *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, Εκδ. Φιλομάθεια.
- JBL, *Vertical Technology Acoustical Principles*, Vertec Chapter Series, 2001.
- L' Acoustics (June 2005), *dV-DOSC, dV-SUB OPERATOR MANUAL*, Version 3.0.
- L-Acoustics, (June 2005), *V-DOSC OPERATOR MANUAL*, Version 4.
- L-Acoustics, (February 2005), *L-Acoustics KUDOOPERATION MANUAL*, version 1.
- Meyer, (2004), *M3D Line Array Loudspeaker Datasheet*.
- Meyer, (2003), *MILO High Power Curvilinear Array Loudspeaker Datasheet*.
- Meyer P., (2005), *The Design and Performance of the REM Ribbon Emulation Manifold Waveguide*, Meyer Sound Laboratories.
- Meyer sound. (2002), *Technical Report: Line Arrays: Theory, Fact and Myth*, Meyer Sound Laboratories.
- Nexo, (August 2010), *GEO S12 Manual*, Version 1.04.
- Olson Harry F., (1947), *Elements of Acoustical Engineering: Second Edition* [New York: D. Van Nostrand Company, Inc.].
- Scheirman W. David., *Practical Considerations for Field Deployment of Modular Line Array Systems*, Presented at the 21st Conference of Audio Engineering Society, June 1-3, 2002.
- Schoenherr , S. E. , *Loudspeaker History*, University of San Diego, August 2, 2001.
- Staffeldt H. , Thompson A., *Line Array Performance at Mid and High Frequencies*, Presented at the 110th Convention of the Audio Engineering Society, October 28-31, 2004.
- Urban et al, *Wavefront Sculpture Technology*, J. Audio Eng. Soc., Vol. 51, No. 10, October, 2003.
- Ureda S. Mark , *Line Arrays: Theory and Applications*, Presented at the 110th Convention of the Audio Engineering Society, Amsterdam, Netherlands, May 12–15, 2001
- Ureda S. Mark, *'J' and 'Spiral' Line Arrays*”, Presented at the 111th Convention of the Audio Engineering Society, New York, U.S.A., September 21-24, 2001
- Ureda S. Mark , *Pressure response of Line Sources* , Presented at the 113th Convention of the Audio Engineering Society, Los Angeles, U.S.A., October 5-8, 2002

INTERNET SITES

ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗ

http://www.meyersound.com/support/papers/curvilinear/index.htm	25/6/2011
http://nexo-sa.com/en/systems/geot/technology/	5/7/2011
http://nexo-sa.com/en/systems/geos12/technology/	3/7/2011
http://nexo-sa.com/en/systems/geos8/technology/	4/7/2011
http://nexo-sa.com/en/about/	3/7/2011
http://www.gtaust.com/filter/06/08.shtml	10/4/2011
http://www.lautsprecher-shop.de/index_theorie_en.htm	19/6/2011
http://www.burton-manor.co.uk/Audio/Audio.htm	12/6/2011
http://www.dozin.com/wallofsound/index.html	1/3/2011
http://www.prosoundweb.com/article/history_files_tycobrahe_sound_company_and_the_california_jam/	18/2/2011