



Τ. Ε. Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ Τ.Ε.

ΗΧΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΙ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



ΚΕΧΡΑΚΟΣ ΚΩΣΤΑΣ

ΡΕΘΥΜΝΟ 2013



Περιεχόμενα

	Εισαγωγικά.....	3
1.	Ισοστάθμιση χώρου με την χρήση γραφικού equalizer.....	4
2.	Μέτρηση στάθμης ακουστικής πίεσης	8
3.	Κατευθυντικότητα ηχείου	14
4.	Μέτρηση Crosstalk	19
5.	Μέτρηση σύνθετης αντίστασης εξόδου	23
6.	Μέτρηση μέγιστης ισχύος εξόδου ενισχυτή	26
7.	Compressor.....	29
8.	Μελέτη Balance σημάτων και DI	32
9.	Ολική αρμονική παραμόρφωση.....	35
	Βιβλιογραφία.....	40



Εισαγωγικά

...καλωσορίσατε στο εργαστήριο των Ηχητικών Συστημάτων II, του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του ΤΕΙ Κρήτης.

Αντικείμενο του εργαστηρίου

Πραγματοποίηση εργαστηριακών ασκήσεων σε σχέση με τις αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των συσκευών που χρησιμοποιούνται στη μουσική (κονσόλες, ενισχυτές, ηχεία, ψηφιακά εφέ κ.λ.π.). Μέθοδοι λειτουργίας των παραπάνω συστημάτων. Αποτελεί συνέχεια του εργαστηρίου των Ηχητικών Συστημάτων I.

Διδακτικό προσωπικό

Κώστας Κεχράκος

Εργαστηριακός συνεργάτης ΤΕΙ Κρήτης

E-mail: kostaskehrakos@hotmail.com

Τηλ. 6974768854

Κανόνες λειτουργίας του εργαστηρίου

1. Κάθε σπουδαστής έρχεται προετοιμασμένος στην άσκηση που θα εκτελέσει.
2. Η συγγραφή της γραπτής εργασίας, για όποια άσκηση απαιτείται είναι υποχρεωτική και παραδίδεται πάντα στο επόμενο εργαστήριο.
3. Τηρούνται οι κανόνες ασφάλειας και παίρνουμε όλες τις προφυλάξεις έναντι του ηλεκτρικού ρεύματος.
4. Διατηρούμε τους χώρους καθαρούς και δεν ξεχνάμε ότι τσιγάρα, ποτά, αναψυκτικά και φαγώσιμα απαγορεύονται στην αίθουσα του εργαστηρίου.
5. Προσέχουμε ώστε να μην προκαλούμε φθορές στον εξοπλισμό του εργαστηρίου.

Αξιολόγηση του εργαστηρίου

1. Επιτρέπονται μέχρι δύο απουσίες και δεν απαλλάσσεται ο σπουδαστής από την εξέταση των ασκήσεων που δεν παρακολούθησε.
2. Ο τελικός βαθμός του εργαστηρίου προκύπτει κατά 30% από την βαθμολογία των γραπτών εργασιών και κατά 70% από την τελική εξέταση στο εργαστήριο.



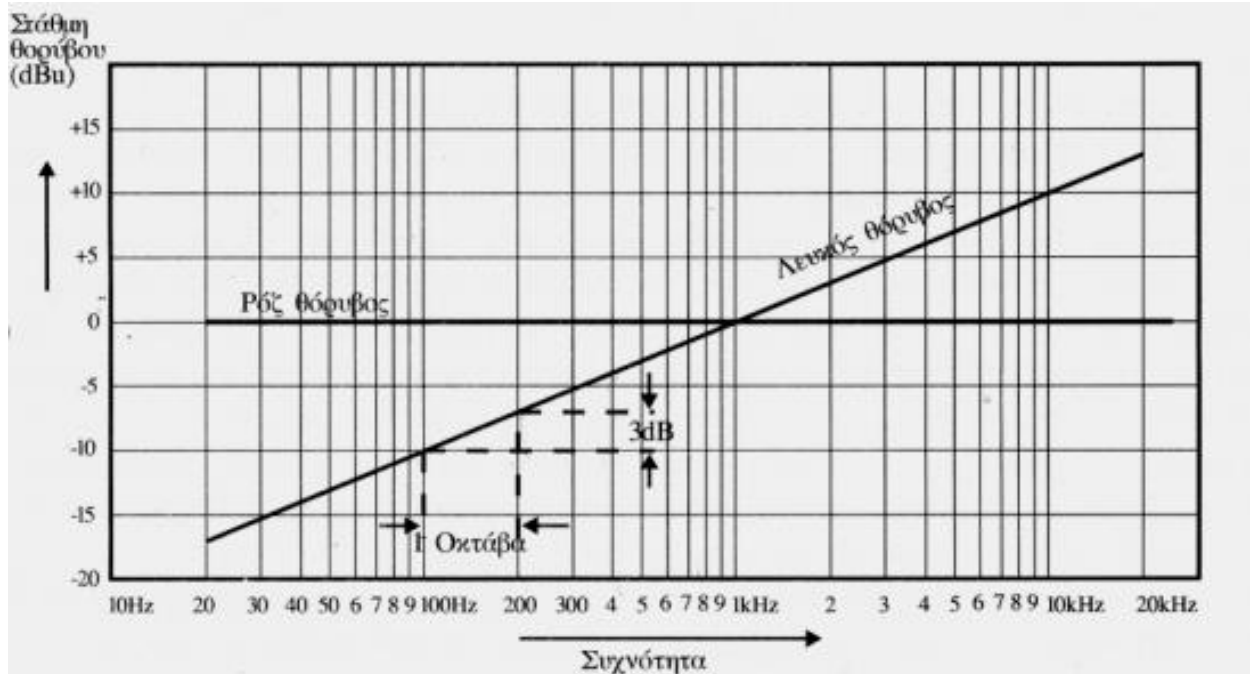
1. Ισοστάθμιση χώρου με την χρήση γραφικού equalizer

Θεωρητική εισαγωγή

Λευκός θόρυβος (White noise). Περιέχει όλες τις συχνότητες και έχει επίπεδο και ευρύ φάσμα. Η ενέργεια του είναι κατανεμημένη ομοιόμορφα σε όλο το ακουστικό φάσμα και πέρα από αυτό, δηλαδή έχει σταθερή ενέργεια ανά συχνότητα.

Στη λογαριθμική κλίμακα συχνοτήτων (βλέπε σχήμα 1), ο λευκός θόρυβος εμφανίζεται να έχει συνεχή αύξηση της ενέργειας του, καθώς η συχνότητα αυξάνεται, με ρυθμό 3 dB ανά οκτάβα. Αυτό συμβαίνει διότι σε κάθε επόμενη οκτάβα συχνοτήτων, διπλασιάζεται το απόλυτο εύρος της οκτάβας (το εύρος της οκτάβας από 500 έως 1000 Hz είναι 500 Hz, ενώ το εύρος της επόμενης οκτάβας από 1000 σε 2000 Hz είναι 1000 Hz κ.ο.κ.), οπότε διπλασιάζεται και το "ποσό ενέργειας θορύβου" που περιέχεται μέσα στην οκτάβα. Ο διπλασιασμός της ενέργειας (ή ισχύος) ισοδυναμεί με αύξηση της κατά 3 dB.

Ο θόρυβος (φύσημα) που ακούγεται από τα μεγάφωνα ενός πολύ καλής ποιότητας ενισχυτή, όταν η ρύθμιση έντασης του είναι στο μέγιστο και δεν δέχεται στην είσοδο του κανένα σήμα, είναι ένα παράδειγμα λευκού θορύβου. Ονομάζεται λευκός επειδή περιέχει όλες τις συχνότητες, σε αντιστοιχία με το λευκό φως που περιέχει όλα τα χρώματα (δηλ. τις "οπτικές" συχνότητες).



Σχήμα 1: Πως μεταβάλλεται η στάθμη του λευκού και του ροζ θορύβου με την συχνότητα.

Ροζ θόρυβος (Pink noise). Έχει "επικλινές" φάσμα (με κλίση προς τα δεξιά) στη γραμμική κλίμακα συχνοτήτων, δηλαδή όσο αυξάνεται η συχνότητα τόσο μειώνεται η ενέργεια των συνιστωσών συχνοτήτων του. Αυτό συμβαίνει διότι ο ροζ θόρυβος διατηρεί ίση και σταθερή ενέργεια σε κάθε οκτάβα, γι' αυτό στη λογαριθμική κλίμακα συχνοτήτων εμφανίζεται να έχει (βλέπε σχήμα 1) σταθερή ενέργεια.

Ο ροζ θόρυβος δεν υφίσταται φυσικά, αλλά παράγεται από το λευκό θόρυβο με φιλτράρισμα, μέσω του pinking φίλτρου, το οποίο είναι ένα κατωδιαβατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής κάτω από τα 16 Hz και ρυθμό εξασθένησης 3 dB ανά οκτάβα. Αυτό το φίλτρο στην ουσία αναιρεί την κατά 3 dB αύξηση της ενέργειας του λευκού θορύβου ανά οκτάβα, ώστε να διατηρεί σταθερή ενέργεια ανά οκτάβα.

Ο ροζ θόρυβος εξομοιώνει με αρκετή ακρίβεια το είδος των ακουστικών μουσικών σημάτων, τα οποία έχουν περισσότερη ενέργεια στις χαμηλές συχνότητες από ότι στις υψηλές όπου υπάρχουν μόνο οι υψηλές αρμονικές των μουσικών νοτών, οι οποίες είναι ως γνωστό ασθενέστερες από τις χαμηλές αρμονικές και τις θεμελιώδεις. Το απόλυτο εύρος μίας χαμηλής οκτάβας (π.χ. από 100 έως 200 Hz) είναι πολύ μικρότερο από το απόλυτο εύρος μίας υψηλής (π.χ. από 2000 έως 4000 Hz). Όταν και οι δύο αυτές οκτάβες έχουν την ίδια ενέργεια, τότε η



χαμηλή (στενότερη) έχει πολύ περισσότερη ενέργεια ανά Hz από την υψηλή (ευρύτερη) και συνεπώς οι χαμηλές συχνότητες στο ροζ θόρυβο έχουν περισσότερη ενέργεια από τις υψηλές συχνότητες, όπως πραγματικά συμβαίνει σε ένα μουσικό ακουστικό σήμα. Γι' αυτό ο ροζ θόρυβος χρησιμοποιείται σαν πηγή ηχοσήματος για την ισοστάθμιση χώρων, τον έλεγχο μεγαφώνων, τις μετρήσεις απόκρισης συχνότητας ακουστικών συστημάτων, τις μετρήσεις ηχομόνωσης και ηχοαπορρόφησης, κ.λπ.

Η ισοστάθμιση του χώρου (με την χρήση ενός γραφικού **equalizer**) γίνεται για να μπορέσουμε να βρούμε τις αλλοιώσεις που προκαλεί στις αναπαραγόμενες από τα ηχεία συχνότητες η ακουστική ενός χώρου.

Πρέπει να έχουμε μια γεννήτρια θορύβου και έναν αναλυτή φάσματος με μικρόφωνο. Διοχετεύεται λοιπόν ροζ θόρυβος μέσα από το ηχητικό σύστημα και ο χώρος γεμίζει από ένα εκκωφαντικό θόρυβο. Το μικρόφωνο συλλαμβάνει τον θόρυβο που έχει μεταδοθεί μέσω του ηχητικού συστήματος στο δωμάτιο και έχει επηρεασθεί και από τα δύο και στέλνει το σήμα του στον αναλυτή. Το σήμα κατόπιν αναλύεται και ανάλογα με την φύση του χώρου το αποτέλεσμα δείχνει μια μικρή ή μεγάλη απόκλιση από την ιδανική ευθεία γραμμή. Οι συχνότητες που αποκλίνουν από την ευθεία του αναλυτή ρυθμίζονται από το equalizer ώστε οι δύο γραμμές να είναι οι ίδιες.

Αυτή η διαδικασία παρουσιάζει όμως και κάποια μειονεκτήματα:

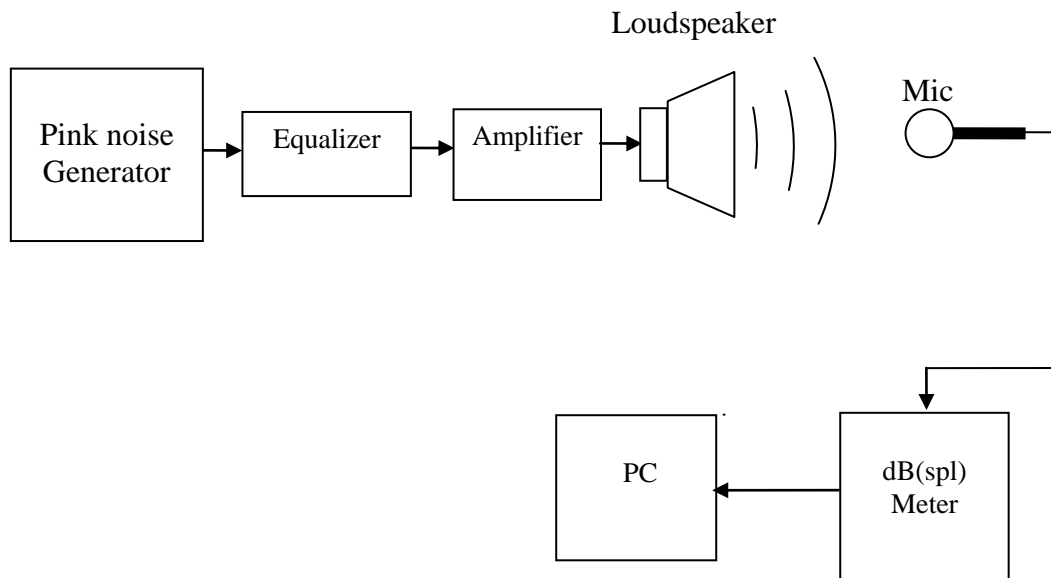
α) Οι συχνότητες είναι σωστές στο σημείο που είναι τοποθετημένο το μικρόφωνο. Σε άλλα σημεία του χώρου πιθανόν να υπάρχει ακόμη ακουστική απόκλιση.

β) Οι ρυθμίσεις είναι σωστές μόνο για την ένταση που παράγει η γεννήτρια θορύβου και λαμβάνει το μικρόφωνο. Το ανθρώπινο αυτί όμως αντιδρά διαφορετικά σε διαφορετικές εντάσεις.

γ) Ο έλεγχος γίνεται σε άδειο χώρο. Όταν γεμίσει η αίθουσα τα χαρακτηριστικά ακουστικής του χώρου αλλάζουν.

Πειραματικό μέρος

1) Πραγματοποιείτε την παρακάτω συνδεσμολογία.



Σχήμα 2: Συνδεσμολογία για την ισοστάθμιση χώρου (με την χρήση ενός γραφικού equalizer).

- 2) Με την βοήθεια του μετρητή στάθμης ακουστικής πίεσης, πάρετε ένα επιθυμητό επίπεδο ακουστικής πίεσης.
- 3) Ρυθμίστε κατάλληλα το equalizer (σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν πριν).

2. Μέτρηση στάθμης ακουστικής πίεσης

Θεωρητική εισαγωγή

Στάθμες αναφοράς

- Στάθμη έντασης (IL) = $10 \log \frac{I}{I_{\text{αναφοράς}}}$ σε decibel,

όπου $I_{\text{αναφοράς}}$ είναι το κατώφλι ακουστότητας και ισούται με 1 Pico watt (10^{-12} watt).

- Στάθμη πίεσης του ήχου (SPL) = $20 \log \frac{P}{P_{\text{αναφοράς}}}$ σε decibel,

όπου $P_{\text{αναφοράς}} = 20 \mu\text{Pa}$.

Ελεύθερο πεδίο ήχου: Ορισμός

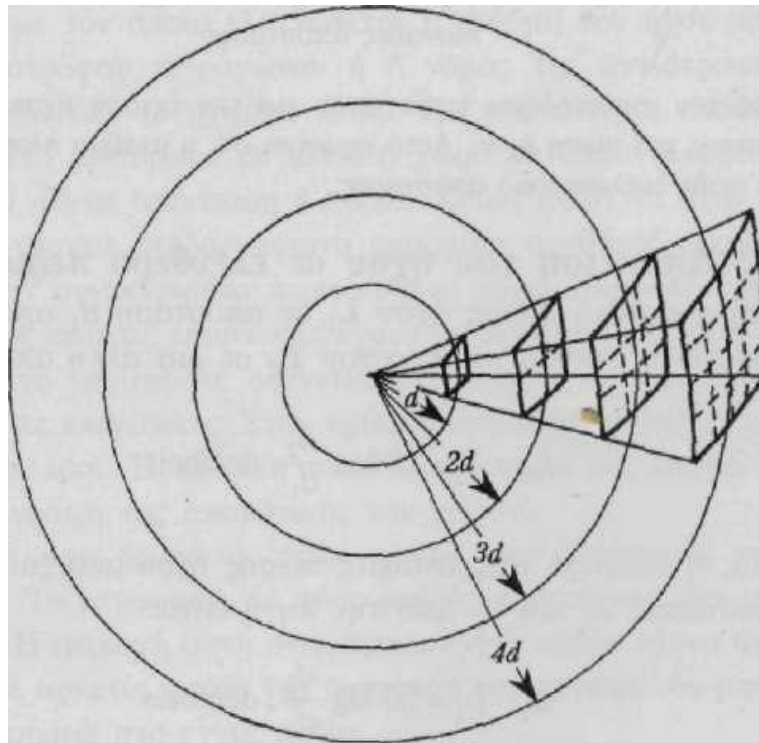
Ο ήχος σε ελεύθερο πεδίο, ανεμπόδιστος και χωρίς να αποκλίνει, κινείται σε ευθεία.

Ανεμπόδιστος ήχος είναι ο ήχος που δεν παρουσιάζει ανακλάσεις, που δεν απορροφάτε, δεν περιθλάται, δεν διαθλάται, δεν διαχέεται και δεν είναι αντικείμενο φαινόμενων συντονισμού.

Ελεύθερος χώρος υπό περιορισμούς μπορεί να υπάρχει ακόμη και μέσα σε ένα δωμάτιο σε πολύ ειδικές συνθήκες.

Νόμος του αντιστρόφου της απόστασης (για την πίεση του ήχου)

Αποδεικνύεται με την βοήθεια του παρακάτω σχήματος ο νόμος τον αντιστρόφου τετραγώνου (για την ένταση), δηλ. ότι η ένταση τον ήχου είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης σε ελεύθερο χώρο, δηλ. $I \propto \frac{1}{r^2}$.

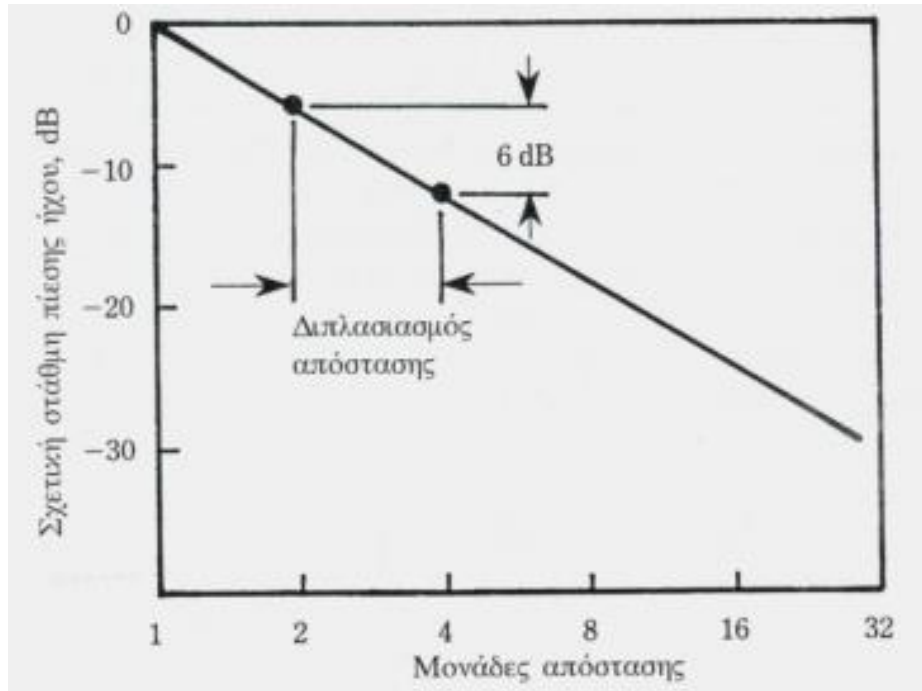


Σχήμα 3: Στην στερεά γωνία του σχήματος, η ίδια ενέργεια κατανέμεται σε σφαιρικές επιφάνειες οι οποίες έχουν όλο και μεγαλύτερη επιφάνεια καθώς αυξάνει το d . Η ένταση του ήχου είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την σημειακή πηγή.

Η ένταση του ήχου εκφράζει τη ροή της ηχητικής ενέργειας προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (κάτι που δεν μπορεί να εκφράσει η πίεση). Για το λόγο αυτό όμως η ένταση του ήχου είναι μία δύσκολα μετρήσιμη παράμετρος που δεν μπορεί να μετρηθεί με τα συνήθη μικρόφωνα, αφού τα μικρόφωνα (που μετρούν πίεση) δεν είναι σε θέση να μετρήσουν διεύθυνση και φορά.

Επειδή η ένταση είναι ανάλογη του τετραγώνου της πίεσης ήχου, ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου για την ένταση του ήχου, γίνεται νόμος του αντιστρόφου της απόστασης για την πίεση του ήχου. Με άλλα λόγια, η πίεση ήχου μεταβάλλεται αντίστροφα της πρώτης δύναμης της απόστασης, δηλ. $P \propto \frac{1}{r}$.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γραφική παράσταση της στάθμης πίεσης ήχου σε decibel σε σχέση με την απόσταση. Παρατηρούμε ότι έχουμε ελάττωση κατά 6 dB για κάθε διπλασιασμό απόστασης (και αυτό βέβαια ισχύει μόνο για ελεύθερο πεδίο).



Σχήμα 4: Ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου για την ένταση του ήχου γίνεται νόμος του αντιστρόφου της απόστασης (για την πίεση του ήχου). Δηλαδή η στάθμη πίεσης του ήχου ελαττώνεται κατά 6 dB για κάθε διπλασιασμό απόστασης.

Η γνώση του νόμου του αντιστρόφου τετραγώνου αποτελεί μεγάλη βοήθεια όταν κάνουμε ακουστικούς υπολογισμούς. Για παράδειγμα, διπλασιασμός της απόστασης από 10 σε 20 μέτρα σε ελεύθερο χώρο, θα συνοδευόταν από την ίδια ελάττωση της στάθμης πίεσης ήχου, δηλ. 6 dB, όπως και ο διπλασιασμός από 100 σε 200 μέτρα. Έτσι δικαιολογείται η μεγάλη δυνατότητα μεταφοράς του ήχου στο ύπαιθρο.

Ένα παράδειγμα: Απόκλιση του ήχου σε ελεύθερο πεδίο

Όταν είναι γνωστή η στάθμη πίεσης ήχου L_1 σε απόσταση d_1 από σημειακή πηγή, μπορεί να υπολογιστεί η στάθμη πίεσης ήχου L_2 σε μια άλλη απόσταση d_2 με τον τύπο:

$$L_2 = L_1 - 20 \log \frac{d_2}{d_1}, \text{ decibel}$$



Με άλλα λόγια, η διαφορά στις στάθμες πίεσης ήχου μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται σε αποστάσεις d_1 και d_2 από την πηγή είναι:

$$L_2 - L_1 = 20 \log \frac{d_2}{d_1}, \text{ decibel}$$

Αν μετρηθεί λοιπόν στάθμη πίεσης ήχου 80 dB σε απόσταση 10 μέτρων, ποια θα είναι η στάθμη στα 15 μέτρα;

Απάντηση:

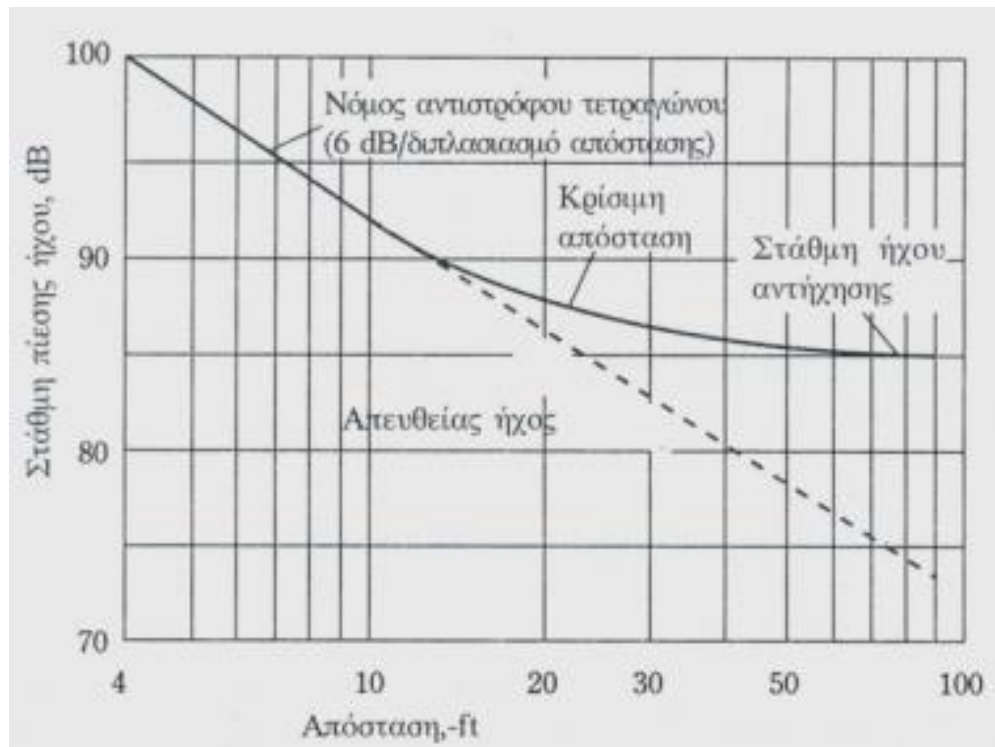
$$20 \log \frac{15}{10} = 3.5 \text{ dB}, \text{ άρα η στάθμη θα είναι } 80 - 3.5 = 76.5 \text{ dB.}$$

Νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου της απόστασης σε κλειστούς χώρους

Μόνο σε πολύ ειδικές και περιορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν ελεύθερα ηχητικά πεδία σε κλειστούς χώρους. Ο νόμος που είδαμε δεν περιγράφει πλέον όλο το ηχητικό πεδίο.

Δείτε το παρακάτω σχήμα. Στην λεγόμενη *κρίσιμη απόσταση* ο απ' ευθείας και ο ανακλώμενος ήχος είναι ίσοι.

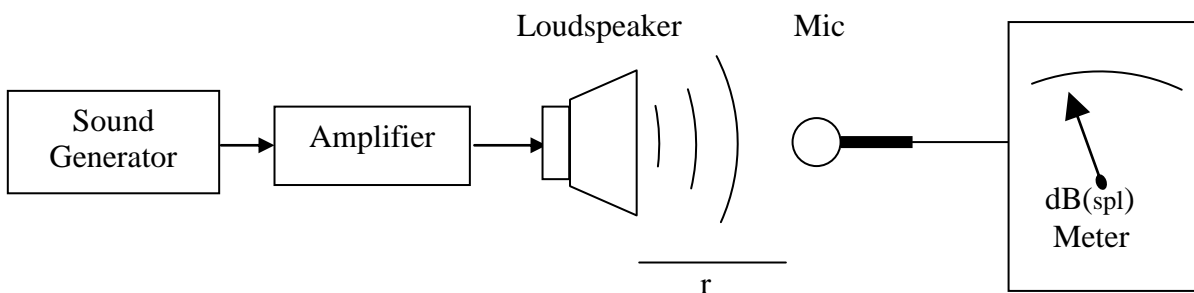
Η κρίσιμη απόσταση μπορεί να ληφθεί σαν μια χονδρική μονοψήφια περιγραφή της ακουστικής του χώρου.



Σχήμα 5: Κοντά στην πηγή, νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου ισχύει ακόμα και σε κλειστό χώρο. Κρίσιμη απόσταση είναι η απόσταση στην οποία η πίεση του ήχου είναι ίση με την πίεση του ήχου αντίληψης.

Πειραματικό μέρος

- 1) Πραγματοποιείτε την παρακάτω συνδεσμολογία:



Σχήμα 6: Συνδεσμολογία για την μέτρηση στάθμης ακουστική πίεσης.
ΗΧΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΙ - ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ



2) Επιλέγουμε τη συχνότητα 600Hz και μεταβάλλοντας διαδοχικά την απόσταση r του μικροφώνου από το ηχείο με βήμα 50cm, παίρνουμε μετρήσεις της στάθμης ακουστικής πίεσης στο διάστημα 50cm-400cm. Επαναλαμβάνουμε για την συχνότητα των 5kHz.

Συχνότητα 600 Hz		Συχνότητα 5 kHz	
Απόσταση (cm)	dB _{SPL}	Απόσταση (cm)	dB _{SPL}
50		50	
100		100	
150		150	
200		200	
250		250	
300		300	
350		350	
400		400	

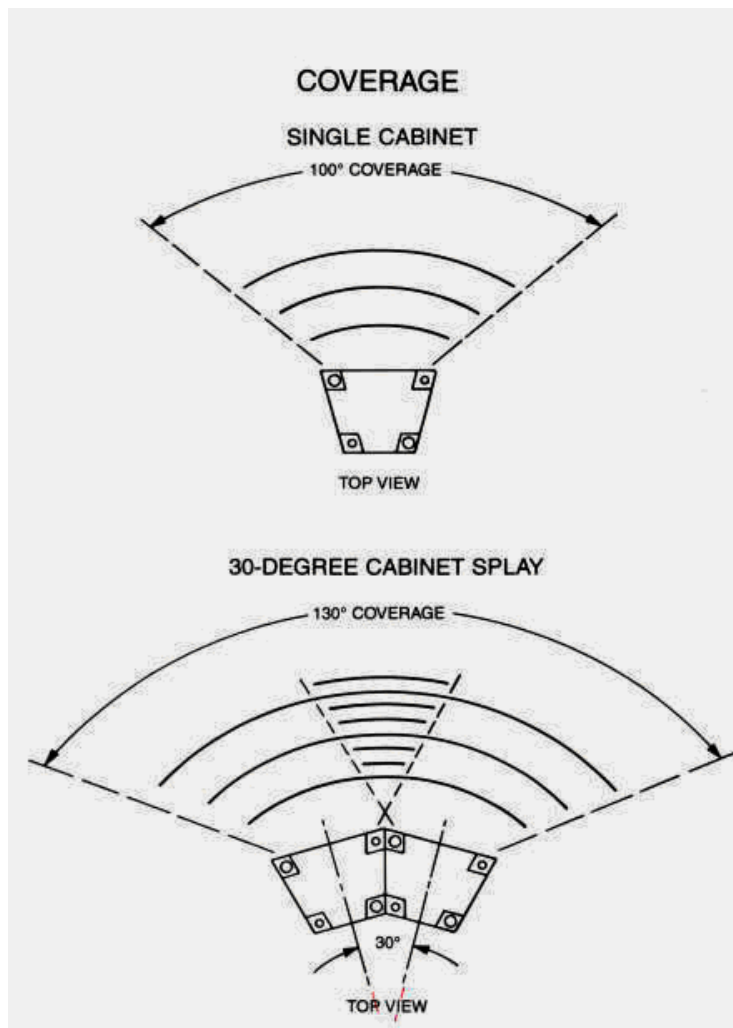
3) Φτιάξτε τα αντίστοιχα διαγράμματα στάθμης ακουστικής πίεσης σε συνάρτηση με την απόσταση. Τι παρατηρείται και γιατί;

3. Κατευθυντικότητα ηχείου

Θεωρητική εισαγωγή

Τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά ενός ηχείου μπορούν να περιγραφούν με πολλούς τρόπους.

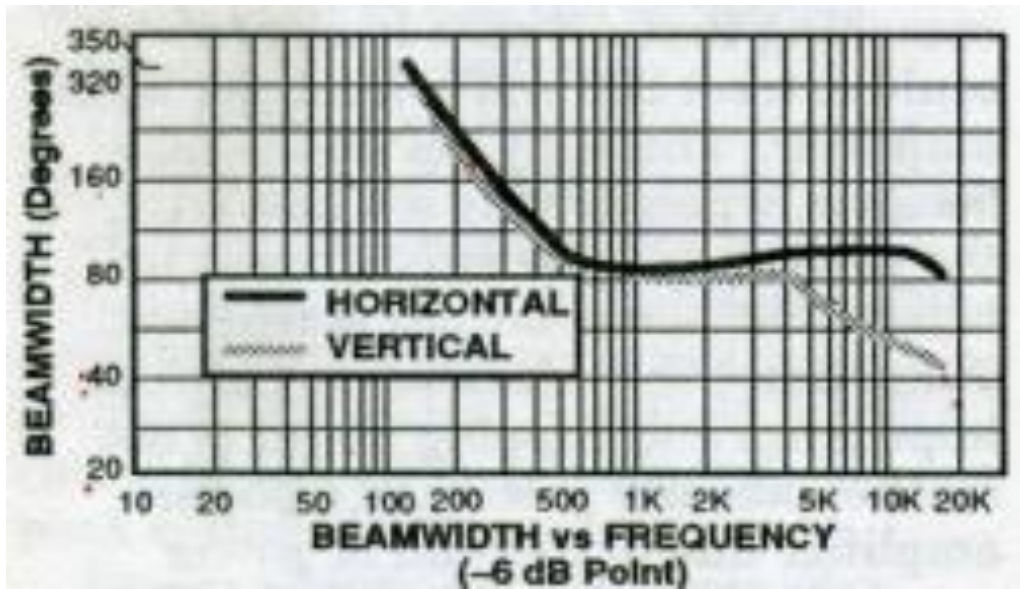
1) Με την **κάλυψη (coverage)** που περιγράφεται με σχεδιαγράμματα που αναπαριστούν την γωνία που ορίζεται από τα σημεία που η στάθμη ακουστικής πίεσης είναι 6 dB χαμηλότερη από την στάθμη πάνω στον κεντρικό άξονα του ηχείου (δηλ. την γραμμή των 0°).



Σχήμα 7: Κάλυψη ηχείου ίση με 100° (πάνω σχήμα) και ίση με 130° (κάτω σχήμα) λόγω της συστοιχίας δυο ηχείων (cluster).

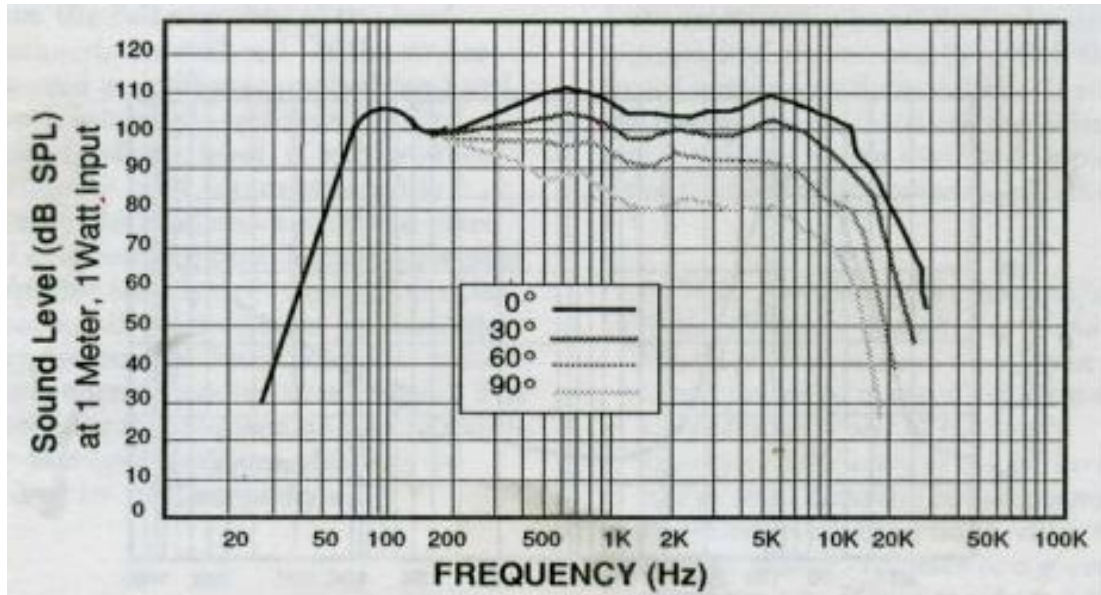
Στο παραπάνω διάγραμμα πρόκειται για οριζόντια κάλυψη (υπάρχει και κάθετη), ενώ πρέπει να δηλώνεται βέβαια και η συχνότητα για την οποία προέκυψε η τιμή της κάλυψης.

2) Με διαγράμματα του **πλάτους δέσμης (beamwidth)**. Αποτελεί ένα πιο λεπτομερή τρόπο περιγραφής της κατευθυντικότητας από τον προηγούμενο. Η γωνία μεταξύ των -6 dB σημείων δίδεται συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 8: Διάγραμμα *beamwidth* ηχείου.

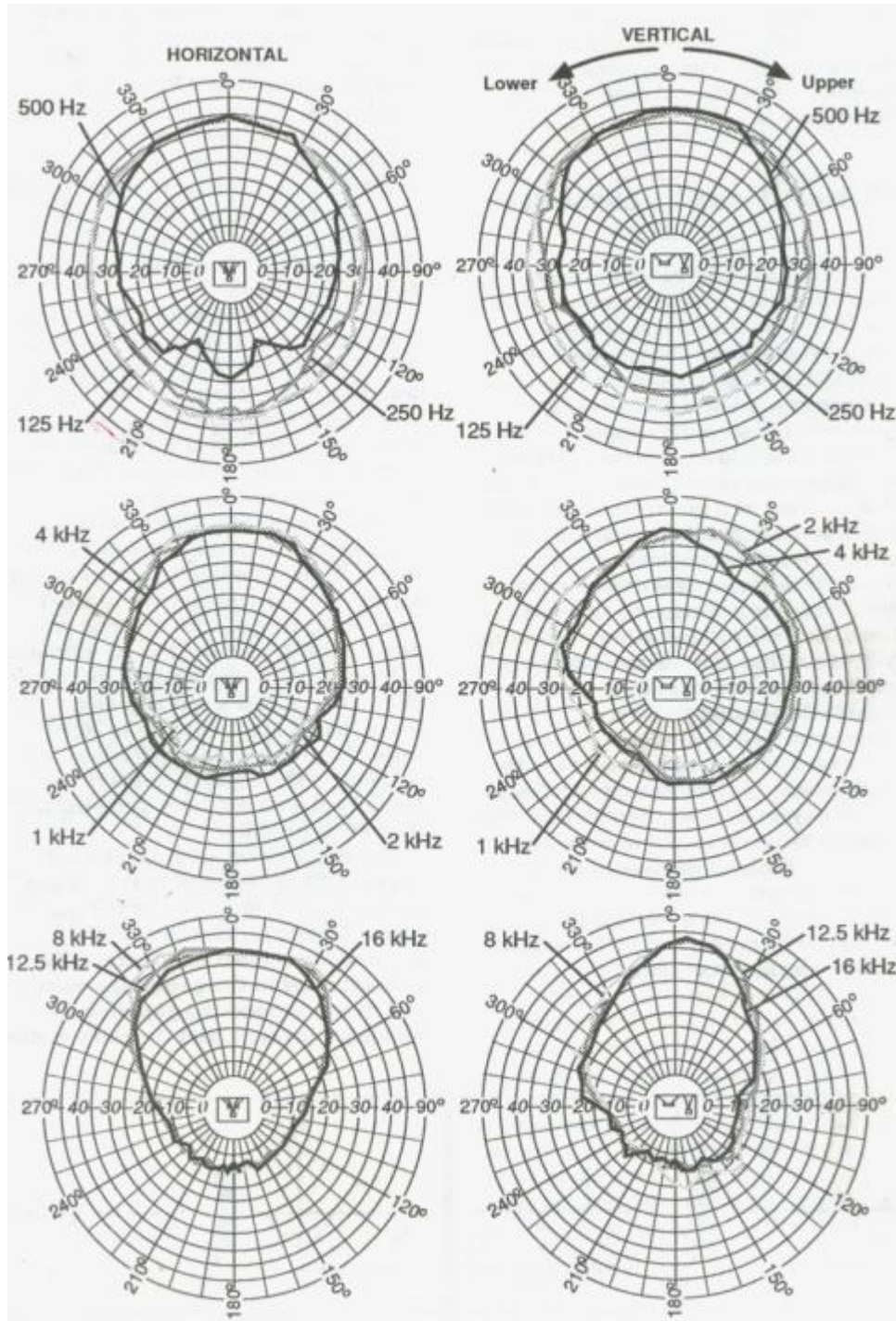
3) Άλλη μέθοδος αναπαράστασης κατευθυντικών χαρακτηριστικών είναι να δώσεις μια ομάδα **καμπύλων συχνοτικής απόκρισης**, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9: Διάγραμμα καμπύλων συχνотικής απόκρισης ηχείου.

Αυτό το διάγραμμα δίνει περισσότερες πληροφορίες για την ποιότητα του ήχου σε κάποιους καθορισμένους άξονες (και λιγότερες για την διασπορά σε όλες τις γωνίες).

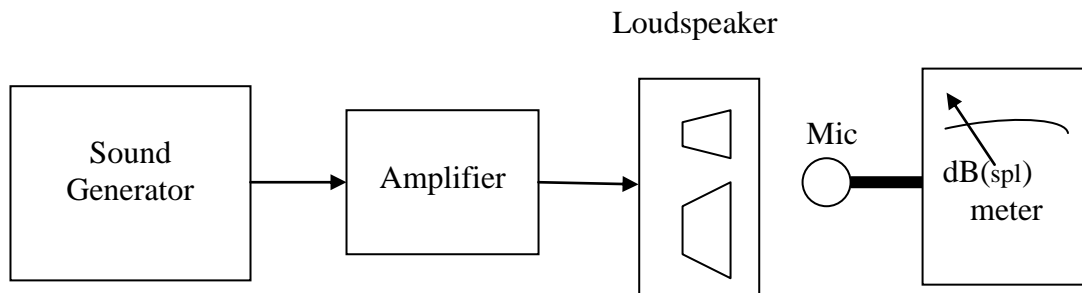
4) Με **πολικά διαγράμματα**. Μπορεί να είναι οριζόντια ή κάθετα. Βλέπουμε τη διασπορά του ήχου που προέρχεται από το ηχείο σε ορισμένες συχνότητες. Π.χ.



Σχήμα 10: Οριζόντια (αριστερά) και κάθετα (δεξιά) πολικά διαγράμματα ηχείου.

Πειραματικό μέρος

1) Πραγματοποιείτε την παρακάτω συνδεσμολογία (με το ηχείο στο κέντρο του εργαστηρίου).



Σχήμα 11: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της κατευθυντικότητας ηχείου.

2) Κρατώντας την απόσταση μεταξύ ηχείου και μικροφώνου σταθερή περιστρέψτε το μικρόφωνο με βήμα 45° και καταγράψτε τις μετρήσεις για συχνότητες 125 Hz, 1kHz και 10 kHz. (Η στάθμη ακουστικής πίεσης στην αρχική μέτρηση των 0° να είναι 85 dB_{spl}).

Συχνότητα 125 Hz		Συχνότητα 1 kHz		Συχνότητα 10 kHz	
Γωνία(Μοίρες)	dB _{SPL}	Γωνία(Μοίρες)	dB _{SPL}	Γωνία(Μοίρες)	dB _{SPL}
0		0		0	
45		45		45	
90		90		90	
135		135		135	
180		180		180	
225		225		225	
270		270		270	
315		315		315	

3) Σχολιάστε το πολικό διάγραμμα του ηχείου για τις παραπάνω συχνότητες.

4. Μέτρηση Crosstalk

Θεωρητική εισαγωγή

Crosstalk (συνακρόαση) είναι η "διαρροή" σήματος που γίνεται μεταξύ των κυκλωμάτων ή μεταξύ των καλωδίων που μεταφέρουν τα σήματα. Εμφανίζεται όταν μία συσκευή ή ένα σύστημα επεξεργασίας ήχου διαχειρίζεται πολλά κανάλια διαφορετικών ακουστικών σημάτων (π.χ. κονσόλα), οπότε "διαρρέουν" σήματα από το ένα κανάλι στο άλλο.

Το φαινόμενο αυτό που είναι σε όλες τις περιπτώσεις ανεπιθύμητο προκαλείται από επαγωγικές ή χωρητικές συζεύξεις. Αυτό σημαίνει ότι υπό συνθήκες και για κάποιες συχνότητες είναι πιθανόν να ελαττωθεί η σύνθετη αντίσταση μεταξύ δύο βαθμίδων και ένα ρεύμα να διαρρεύσει από τη μια στην άλλη. Επίσης για υψηλές κυρίως συχνότητες μπορεί κάποιες διατάξεις να δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πολύ μικρής ισχύος ικανή όμως να ληφθεί από μεγάλου μήκους καλώδια ή γραμμές σε τυπωμένα κυκλώματα που στη προκειμένη περίπτωση λειτουργούν σαν κεραίες και το σήμα να διαρρεύσει και πάλι.

Το crosstalk αποφεύγεται με διαχωρισμό και θωράκιση των κυκλωμάτων, με σωστή τοποθέτηση των ηλεκτρονικών στοιχείων στην πλακέτα και με κατάλληλη απόσταση και θέση των καλωδίων. Για παράδειγμα, δύο καλώδια που βρίσκονται δίπλα και είναι παράλληλα, έχουν ισχυρή σύζευξη και περνά σήμα από το ένα στο άλλο σε μεγάλο βαθμό.

Η συνακρόαση στις stereo συσκευές δίνεται από το μέγεθος διαχωρισμός καναλιών (channel separation) και αφορά τη διαρροή σήματος από το ένα κανάλι στο άλλο.

Αν η συνακρόαση είναι -70 dB τότε ο διαχωρισμός καναλιών θα είναι 70 dB. Η τιμή στάθμης για την συνακρόαση σε μια σχετική audio συσκευή πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, ενώ για τον διαχωρισμό καναλιών όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.



Για συγκεκριμένες συσκευές τα σημεία που πρέπει να προσεχτούν και στα οποία μπορεί να επέμβει ο κατασκευαστής είναι τα εξής:

(α) Να μη χρησιμοποιούνται καλώδια πολλών αγωγών στο ίδιο "κορδόνι", αλλά ξεχωριστά καλώδια για κάθε σήμα.

(β) Να αποφεύγονται παράλληλες διαδρομές καλωδίων σε μεγάλη απόσταση. Αν δεν είναι αυτό δυνατόν τότε να υπάρχει όσο γίνεται μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους.

(γ) Αν είναι δυνατόν, οι αποστάσεις μεταξύ των μετασχηματιστών τάσης που υπάρχουν μέσα στις συσκευές να είναι σχετικά μεγάλες και ο "προσανατολισμός" των μετασχηματιστών να δημιουργεί γωνία 90° .

(δ) Όταν τα καλώδια "συναντώνται", θα πρέπει να σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους.

(ε) Τα καλώδια που μεταφέρουν ισχυρά σήματα δεν πρέπει να γειτονεύουν με καλώδια που μεταφέρουν ασθενή σήματα.

Η συνακρόαση εξαρτάται επίσης από τη συχνότητα. Όταν οφείλεται σε επαγωγική σύζευξη (π.χ. ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο συναντά αγωγούς σήματος) αυξάνεται όσο ελαττώνεται η συχνότητα., ενώ όταν οφείλεται σε χωρητική σύζευξη (π.χ. δύο παράλληλα καλώδια), τότε αυξάνεται όσο αυξάνεται και η συχνότητα.

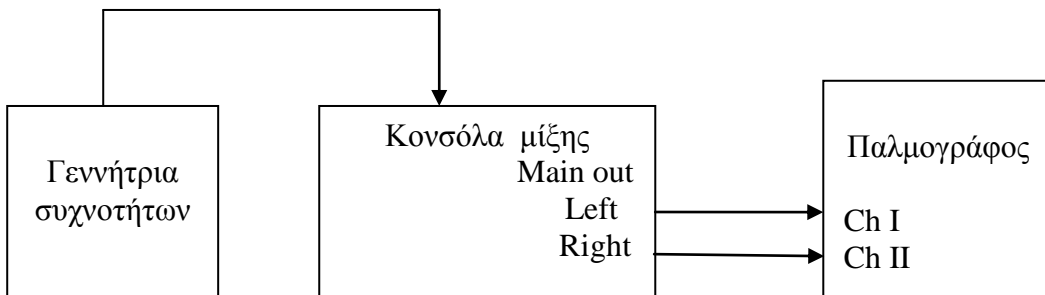
Όταν δίνεται το μέγεθος της συνακρόασης, πρέπει απαραίτητα να αναφέρεται και η συχνότητα (ή η περιοχή συχνοτήτων) στην οποία έγινε η μέτρηση. Τιμές συνακρόασης μικρότερες από -65 dB (ή αντίστοιχα τιμές διαχωρισμού μεγαλύτερες από 65 dB) είναι γενικά αποδεκτές.

Παρακάτω θα δούμε τον τρόπο μέτρησης της διαρροής αυτής.

Πειραματικό μέρος

Στο πείραμα αυτό θα μετρήσουμε το crosstalk μεταξύ των δύο καναλιών Left και Right, σε μια κονσόλα.

- 1) Πραγματοποιούμε την συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 12: Συνδεσμολογία για την μέτρηση του crosstalk κονσόλας.

- 2) Δώστε σήμα από την γεννήτρια στην είσοδο της κονσόλας, επιλέγοντας να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερης έντασης χωρίς να παραμορφώνει το σήμα στην κονσόλα. Στρέψτε το ρυθμιστικό pan-rot στη θέση Right, έτσι ώστε να διοχετευθεί όλο το σήμα στην Right βαθμίδα της κονσόλας, άρα και στην Right έξοδο.

- 3) Συνδέστε τις εξόδους Left και Right στα δύο κανάλια του παλμογράφου. Μεταβάλλετε σταδιακά την συχνότητα της γεννήτριας, στο εύρος 20-100000Hz. Για κάθε συχνότητα, καταγράψτε την τάση του καναλιού Right και την τάση διαρροής στο κανάλι Left.



4) Καταχωρείστε τις τιμές που βρήκατε στον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

F (Hz)	Vout, Left (Volt)	Vout, Right (Volt)	$dB = 20 \times \log \frac{V_{out, Left}}{V_{out, Right}}$
20			
50			
100			
200			
500			
1 k			
2			
5			
10			
20			
50			

Από τις τιμές των δύο τάσεων $V_{out,Left}$ και $V_{out,Right}$, υπολογίστε την τιμή του crosstalk, σε dB (που θα πρέπει να εκφράζεται σε αρνητικές τιμές).

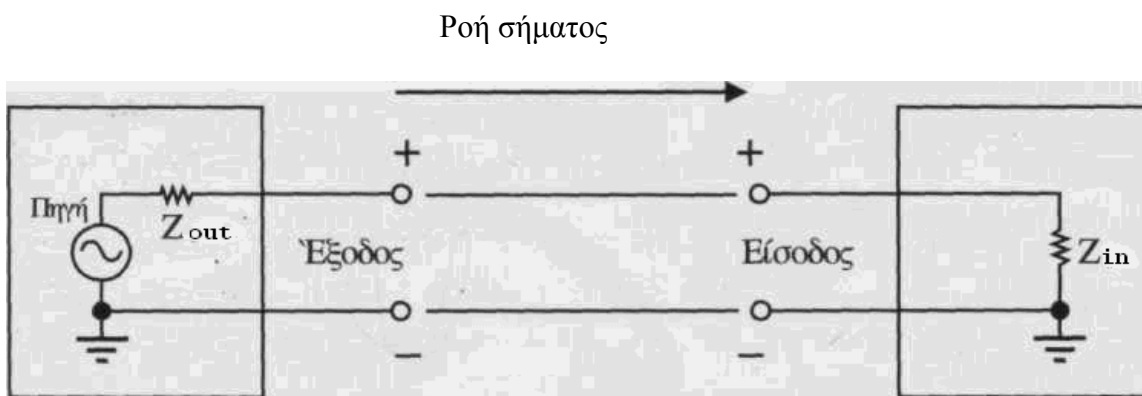
5) Σχεδιάστε το διάγραμμα που δίνει το crosstalk σε όλο το φάσμα λειτουργίας της συσκευής.

5. Μέτρηση σύνθετης αντίστασης εξόδου

Θεωρητική εισαγωγή

Στις διατάξεις που διαθέτουν εισόδους και εξόδους σήματος είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τις σύνθετες αντιστάσεις των εισόδων και των εξόδων Z_{in} , Z_{out} . Μπορούμε έτσι να εξασφαλίσουμε τις συνδέσεις μας ώστε να έχουμε π.χ. μέγιστη μεταφορά ισχύος.

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε την θεωρητική διάταξη των Z_{in} και Z_{out} .



Σχήμα 13: Αντιστάσεις εισόδου και εξόδου.

Η αντίσταση εξόδου Z_{out} του κυκλώματος 1 είναι ένα μέγεθος το οποίο καθορίζει το πόσο εύκολα ή δύσκολα η ισχύς του σήματος που παρέχει το κύκλωμα 1 θα εξέρχεται από την έξοδο του κυκλώματος 1. Αυτή η αντίσταση συνήθως ονομάζεται αντίσταση πηγής (source impedance) γιατί το κύκλωμα 1 που παρέχει το σήμα θεωρείται ως η πηγή του σήματος.

Η αντίσταση εισόδου Z_{in} του κυκλώματος 2, που δέχεται το ακουστικό σήμα από το κύκλωμα 1, είναι ένα μέγεθος που καθορίζει αφ' ενός πόση ισχύ σήματος τείνει να "τραβήξει" η είσοδος του 1 από την έξοδο του 2 και αφ' ετέρου τι ποσοστό του σήματος θα εισέλθει μέσα στο κύκλωμα 2, αντί να οδηγηθεί μέσω της Z_{in} στη γη. Αυτή η αντίσταση ονομάζεται συνήθως αντίσταση φορτίου (load impedance) γιατί αυτή

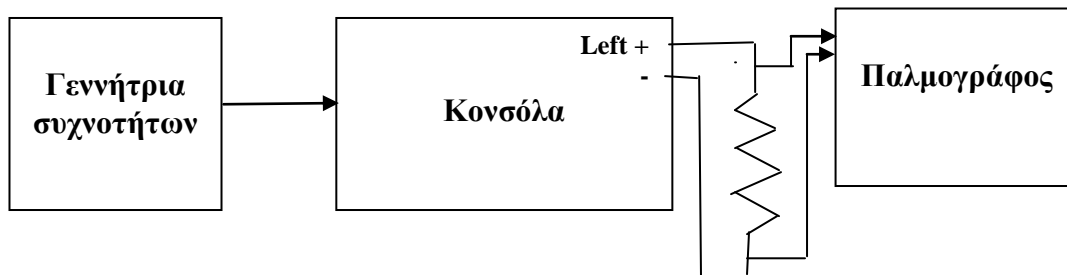
καθορίζει το πόσο θα φορτιστεί (δηλαδή πόσο θα καταπονηθεί λόγω της απαίτησης ισχύος σήματος) η έξοδος του προηγούμενου κυκλώματος.

Στα περισσότερα σύγχρονα κυκλώματα και συσκευές θεωρείται αναγκαίο η αντίσταση εξόδου Z_{out} να είναι χαμηλή για να διευκολύνει την έξοδο του σήματος, ενώ η αντίσταση εισόδου Z_{in} να είναι υψηλή ώστε ούτε να φορτώνει την προηγούμενη έξοδο (απαιτώντας περισσότερης ισχύος σήμα), ούτε να οδηγεί (λόγω μικρής τιμής) το σήμα εισόδου στη γη. Πρακτικά, όταν η Z_{in} είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη της Z_{out} τότε γίνεται σωστά η ζεύξη (σύνδεση) μεταξύ των δύο κυκλωμάτων.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου πρέπει η Z_{in} να είναι ίση με τη Z_{out} , δηλαδή γίνεται ταίριασμα (matching) των αντιστάσεων εισόδου - εξόδου. Αυτό επιβάλλεται σε περιπτώσεις που γίνεται μεταφορά ισχύος από κύκλωμα σε κύκλωμα. Π.χ. Η αντίσταση εξόδου ενός ενισχυτή ισχύος πρέπει να είναι ταιριασμένη (δηλ. ίση) με την αντίσταση του μεγάφωνου, έτσι ώστε όλη η ισχύς του σήματος να οδηγείται από την έξοδο του ενισχυτή στο μεγάφωνο.

Πειραματικό μέρος

Η μέτρηση της αντίστασης εξόδου είναι μια πολύ απλή και χρήσιμη διαδικασία που βασίζεται στην απλή εφαρμογή του διαιρέτη τάσης. Παρακάτω βλέπετε το κύκλωμα και τις συνδεσμολογίες.



Σχήμα 14: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της σύνθετης αντίστασης εξόδου κονσόλας.



- 1) Δίνουμε ένα σήμα στην είσοδο (συχνότητας 1 kHz) και μετράμε την τάση στην έξοδο χωρίς φορτίο.
- 2) Συνδέστε ένα παλμογράφο στην έξοδο της κονσόλας και μετρήστε την τάση U_{out} .
- 3) Στη συνέχεια, έχοντας συνδέσει στην έξοδο μια ρυθμιστική ωμική αντίσταση, μειώνουμε την τιμή της έτσι που η τάση στην έξοδο της διάταξης να γίνει μισή από την αρχική U_{out} .
- 4) Μετράμε την αντίσταση και η τιμή της είναι ίση με την ζητούμενη τιμή της Z_{out} .
- 5) Κάντε το ίδιο για τις συχνότητες 50, 200, 500 Hz και 3, 8, 14, 20, 40 kHz.
- 6) Καταχωρείστε τις τιμές που βρήκατε στον παρακάτω πίνακα μετρήσεων:

F(Hz)	Zout (Ω)
50	
200	
500	
1k	
3	
8	
14	
20	
40	

- 7) Χαράξτε την καμπύλη απόκρισης της σύνθετης αντίστασης εξόδου της κονσόλας.

6. Μέτρηση μέγιστης ισχύος εξόδου ενισχυτή


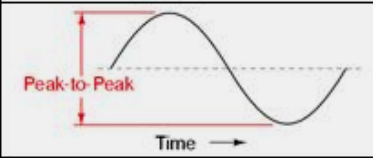
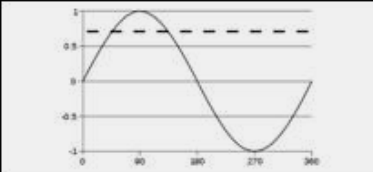
Θεωρητική εισαγωγή

Η μέτρηση της μέγιστης ισχύος εξόδου σε μια διάταξη και ιδιαίτερα στους ενισχυτές που διαχειρίζονται μεγάλες ισχύς είναι μια απλή αλλά πολύ σημαντική διαδικασία. Πολλές συσκευές δεν αναγράφουν την μέγιστη rms ισχύ εξόδου και άλλες χρησιμοποιούν περίπλοκες διατυπώσεις με σκοπό τις περισσότερες φορές τη σύγχυση του αγοραστή, όταν ιδιαίτερα αυτός δεν είναι τεχνικός.

Στο σημερινό εργαστήριο θα δούμε τη μέθοδο με την οποία μπορούμε να μετρήσουμε τη μέγιστη απαραμόρφωτη ισχύ σε ένα ενισχυτή.

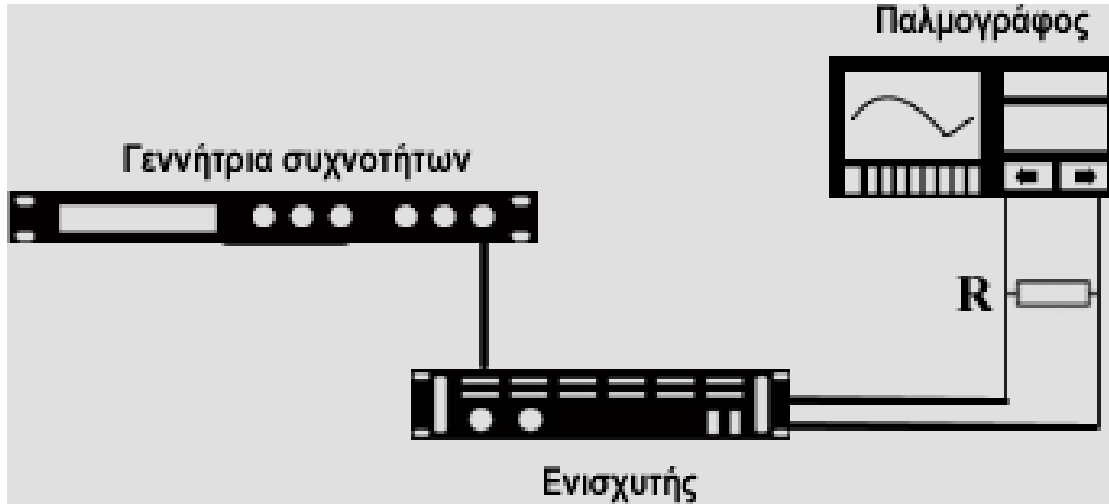
Για τη μέτρηση είναι απαραίτητος ένα παλμογράφος και μια γεννήτρια ημίτονου. Η μέτρηση μπορεί να γίνει στην συχνότητα που χρησιμοποιείται σαν αναφορά για αυτές τις μετρήσεις και είναι 1kHz. Για να είναι αξιόπιστη η μέτρηση θα πρέπει να γίνει σε πραγματικές συνθήκες με την ύπαρξη δηλαδή του κατάλληλου φορτίου στην έξοδο του ενισχυτή. Η τιμή του φορτίου θα πρέπει να συνοδεύει την παραπάνω μέτρηση για να μπορεί η μέτρηση αυτή να είναι συγκρίσιμη με ανάλογες μετρήσεις από άλλες συσκευές.

Υπενθυμίζουμε παρακάτω τον ορισμό της ενεργούς τάσης.

Στιγμιαία τάση	$V(t) = V_{peak} \sin \omega t$	
Πλάτος τάσης	$V_{peak} = \frac{V_{p-p}}{2}$	
Ενεργός τάση	$V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$	

Πειραματικό μέρος

1) Συνδέστε την γεννήτρια στην είσοδο της συσκευής και το φορτίο στην έξοδο. Παράλληλα με το φορτίο συνδέστε το ένα κανάλι του παλμογράφου (έστω το Left), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 15: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της μέγιστης ισχύος εξόδου ενισχυτή.

2) Επιλέξτε σήμα 1kHz από την γεννήτρια και βάλτε το ρυθμιστικό του ενισχυτή στην θέση max.

3) Αυξήστε το πλάτος του σήματος από την γεννήτρια μέχρι που να δείτε στην οθόνη του παλμογράφου παραμόρφωση της κυματομορφής του σήματος εξόδου του ενισχυτή. Μειώστε ελάχιστα το πλάτος έτσι που να πάρετε στην έξοδο το μέγιστο μη παραμορφωμένο σήμα.

4) Μετρήστε το πλάτος του σήματος U_{peak} (ισχύει ότι $U_{rms} = 0,707 \times \frac{U_{peaktopeak}}{2}$).

Από τον τύπο αυτό υπολογίστε την μέγιστη rms τάση για μη παραμορφωμένο σήμα στην έξοδο.

5) Από την σχέση $P_{rms} = \frac{U_{rms}^2}{R}$ υπολογίστε τη ζητούμενη ισχύ.



6) Επαναλάβετε τα προηγούμενα για συχνότητες 100Hz και 18 kHz. Χρησιμοποιείστε τον παρακάτω πίνακα μετρήσεων.

F(Hz)	U_{p-p}(Volt)	U_{rms}(Volt)	P_{rms} (Watt)
100			
1k			
18k			

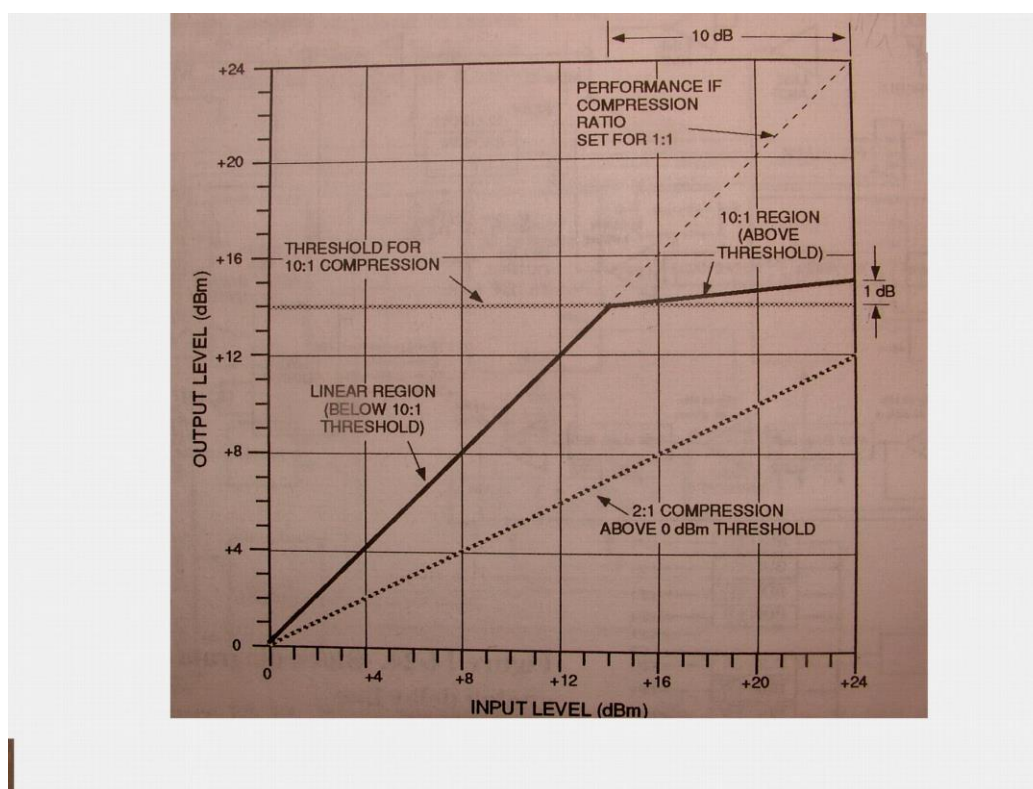
7. Δυναμικοί επεξεργαστές σήματος (Compressors)

Θεωρητική εισαγωγή

Οι compressor (συμπιεστές) είναι δυναμικοί επεξεργαστές σήματος, έχουν δηλαδή σαν σκοπό να περιορίζουν το δυναμικό εύρος ενός σήματος.

Στις διατάξεις αυτές ο χρήστης ορίζει ένα επίπεδο έντασης (threshold) του σήματος πάνω από το οποίο η συσκευή αρχίζει να συμπιέζει το σήμα και τον λόγο συμπίεσης (ratio).

Ο λόγος συμπίεσης μπορεί να πάρει τιμές μέχρι 20/1 ή και μεγαλύτερες. Όταν λέμε για παράδειγμα λόγο συμπίεσης 10/1, αυτό σημαίνει ότι για αύξηση της στάθμης του σήματος 10dBu στην είσοδο, θα προκληθεί μια αύξηση μόνο 1dBu στην έξοδο. Η καμπύλη που περιγράφει την συμπίεση του σήματος σε ένα compressor, φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 16: Χαρακτηριστικά compressor και limiter.

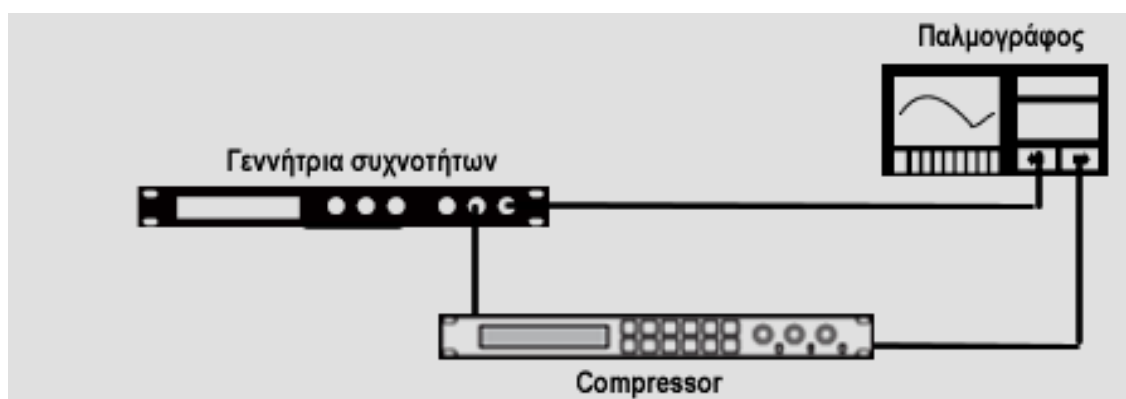
Τα limiter χρησιμοποιούνται στις ραδιοφωνικές εκπομπές έτσι ώστε το σήμα να μην ξεπερνά ποτέ ένα άνω οριακό σημείο. Επίσης χρησιμοποιούνται ώστε να σταματούν την ένταση από το να ξεπερνά ορισμένα επίπεδα (π.χ. σε κάποιο club ή για να μην καταστραφούν μεγάφωνα). Σε ζωντανές ηχογραφήσεις το limiter βοηθά στην πρόληψη υπερβολικά δυνατών εντάσεων, άρα στην πρόληψη της παραμόρφωσης. Μπορείτε ακόμη να χρησιμοποιήσετε το limiter σαν μονάδα εφέ. Αν π.χ. περάσετε το μπάσο από ένα limiter, ο ήχος κρατάει πολύ (και ακούγεται σαν αρμόνιο).

Στην rock μουσική ο compressor χρησιμοποιείται συχνά για να κάνει τον ήχο «επίπεδο». Οι ηχογραφήσεις Κλασικής και Jazz μουσικής στηρίζονται στην απόδοση πλατιών δυναμικών περιοχών και στην εναλλαγή των εντάσεων του ήχου. Στην rock μουσική αυτές οι εναλλαγές επιτυγχάνονται με την ενορχήστρωση μάλλον, παρά με τις διαφορές στην ένταση του ήχου. Γενικά οι ηχογραφήσεις rock μουσικής πρέπει να είναι πιο «συμπαγείς». Για να γίνει αυτό δυνατό, συνιστάται η χρήση του compressor σε ορισμένες περιπτώσεις. Το μπάσο είναι ένα δημοφιλές «compressor-όργανο». Η χρήση του compressor στα φωνητικά μάς επιτρέπει να διατηρήσουμε την ένταση τους χαμηλή, χωρίς όμως να διατρέχουμε τον κίνδυνο να μην ακούγονται καθόλου.

Πειραματικό μέρος

Στον compressor του εργαστηρίου δεν υπάρχει δυνατότητα για ορισμό του ratio. Αυτό θα είναι λοιπόν και το ζητούμενο του πειράματος.

- 1) Συνδέστε μια γεννήτρια στην είσοδο του compressor και ένα παλμογράφο στην έξοδο του.
- 2) Συνδέστε το άλλο κανάλι του παλμογράφου με την έξοδο της γεννήτριας.



Σχήμα 17: Συνδεσμολογία για την μέτρηση του ratio του compressor.



3) Ρυθμίστε το threshold σε μια τιμή της επιλογής σας, το δε gain του compressor έτσι που το σήμα στην είσοδο να είναι το ίδιο με το σήμα στην έξοδο.

4) Αρχίστε να αυξάνεται το σήμα μέχρι την στάθμη που η έξοδος ακολουθεί γραμμικά την αύξηση της εισόδου. Στο σημείο αυτό σημειώστε την τάση εισόδου και υπολογίστε σε dBu το threshold. Είναι το ίδιο με αυτό που ορίσατε.

5) Συνεχίστε να αυξάνεται την τάση μετρώντας U_{in} και U_{out} για κάθε μισό volt αύξησης του U_{in} .

6) Πάρτε τις απαιτούμενες τιμές και καταχωρείστε τις στον παρακάτω πίνακα μετρήσεων, ώστε να χαράξετε την καμπύλη συμπίεσης του compressor.

Vin (Volt)	Vout (Volt)	Input Level (dBu)	Output Level (dBu)

7) Υπολογίστε το ratio του compressor.

$$\text{Υπενθυμίζεται ότι: } dBu = 20 \times \log \frac{U_{rms}(\text{volt})}{0.775(\text{volt})}$$

8. Μελέτη Balance σημάτων και DI

Θεωρητική εισαγωγή

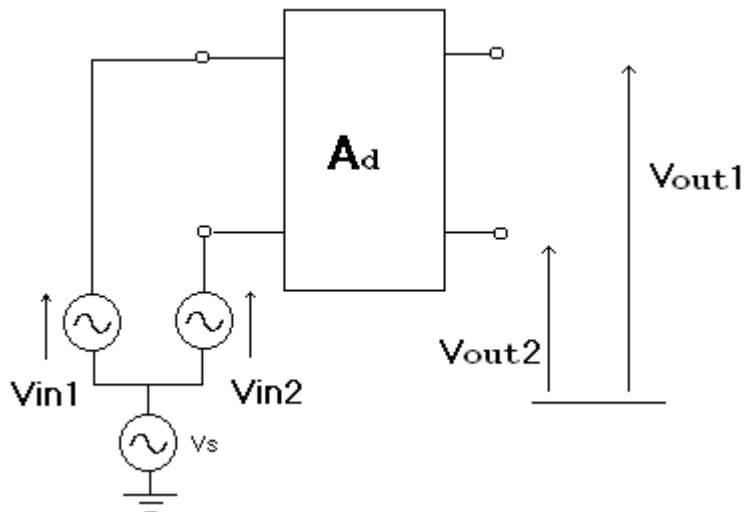
Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία, σε ένα διαφορικό ενισχυτή στην είσοδο του οποίου έχουμε δύο σήματα V_{in1} και V_{in2} , παίρνουμε στην έξοδο του δύο σήματα V_{out1} και V_{out2} , για τα οποία ισχύει:

$$V_{out1} = -A_d (V_{in1} - V_{in2})$$

$$V_{out2} = A_d (V_{in1} - V_{in2})$$

Και το σήμα μεταξύ των δύο άκρων:

$$V_{out} = V_{out1} - V_{out2} = -2A_d (V_{in1} - V_{in2})$$



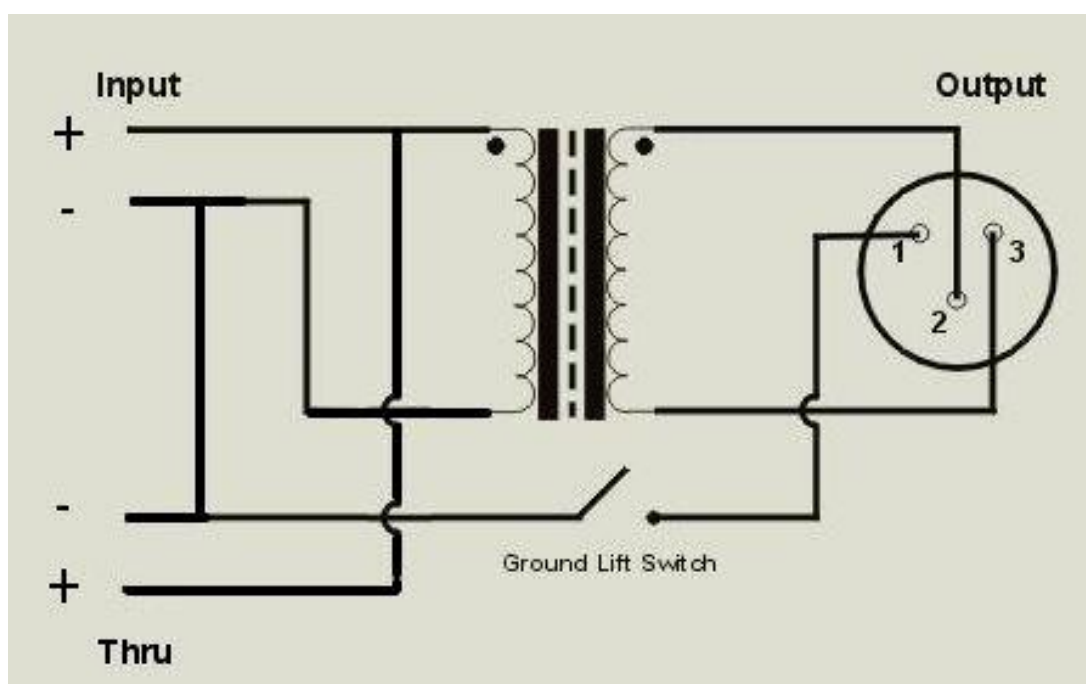
Σχήμα 18: Κύκλωμα διαφορικού ενισχυτή.

Αν στο αρχικό σήμα προστεθεί και μια κοινή πηγή σήματος, όπως για παράδειγμα κάποιος θόρυβος V_s (βλέπε σχήμα), τότε αυτός αναιρείται και στην έξοδο μεταξύ των δύο τάσεων έχουμε και πάλι:

$$V_{out} = -2A_d (V_{in1} - V_{in2})$$

Καταλαβαίνει κανείς ότι για έχουμε σήμα στην έξοδο του διαφορικού ενισχυτή και να μην μηδενίζεται η τάση θα πρέπει οι τάσεις V_{out1} και V_{out2} να μην είναι ίδιες.

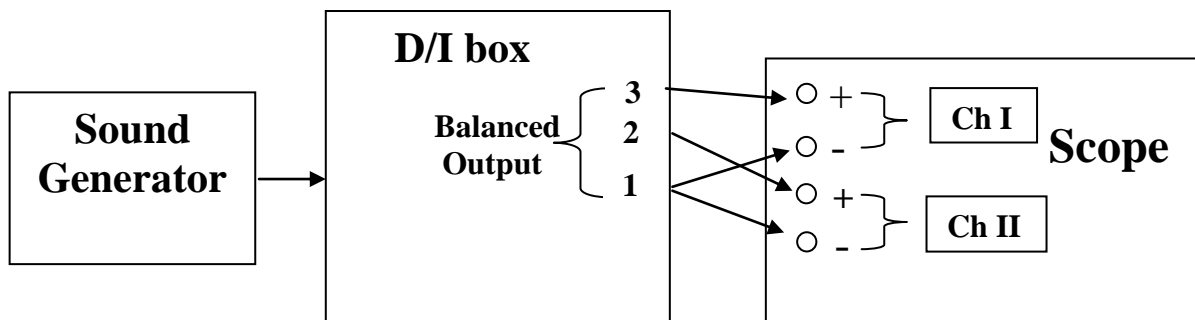
Ο διαφορικός ενισχυτής χρησιμοποιείται για την απόρριψη των θορύβων σε συνδυασμό με τα balance σήματα. Τα σήματα αυτά είναι ζεύγη του ίδιου σήματος αλλά με αντίθετη πολικότητα. Για τη δημιουργία του balance σήματος από ένα απλό σήμα χρησιμοποιούνται οι διατάξεις που ονομάζονται Direct Injection (DI). Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 19: Κύκλωμα ενός DI box.

Πειραματικό μέρος

1) Στο active DI του εργαστηρίου συνδέστε ένα σήμα 1kHz στην είσοδο και δείτε στον παλμογράφο τα δύο σήματα που εξέρχονται από την XLR έξοδο του DI. Στην XLR έξοδο τα σήματα βρίσκονται στους ακροδέκτες 2 και 3, ενώ το Ground στο 1.



Σχήμα 20: Συνδεσμολογία για την μελέτη ενός DI box.

2) Σχεδιάστε τα δύο σήματα και εξηγήστε αν με την είσοδο τους σε ένα διαφορικό ενισχυτή μπορούμε να απαλείψουμε το θόρυβο που εισέρχεται κατά τη μεταφορά τους.

3) Μιλώντας στο μικρόφωνο, ώστε να έχετε το αντίστοιχο σήμα, κάντε το ίδιο με την έξοδο ενός μικροφώνου. Είναι το σήμα που εξέρχεται από το μικρόφωνο balance;

4) Συνδέστε το passive DI που σας δίνεται και μελετήστε το αναλόγως.

9. Ολική αρμονική παραμόρφωση

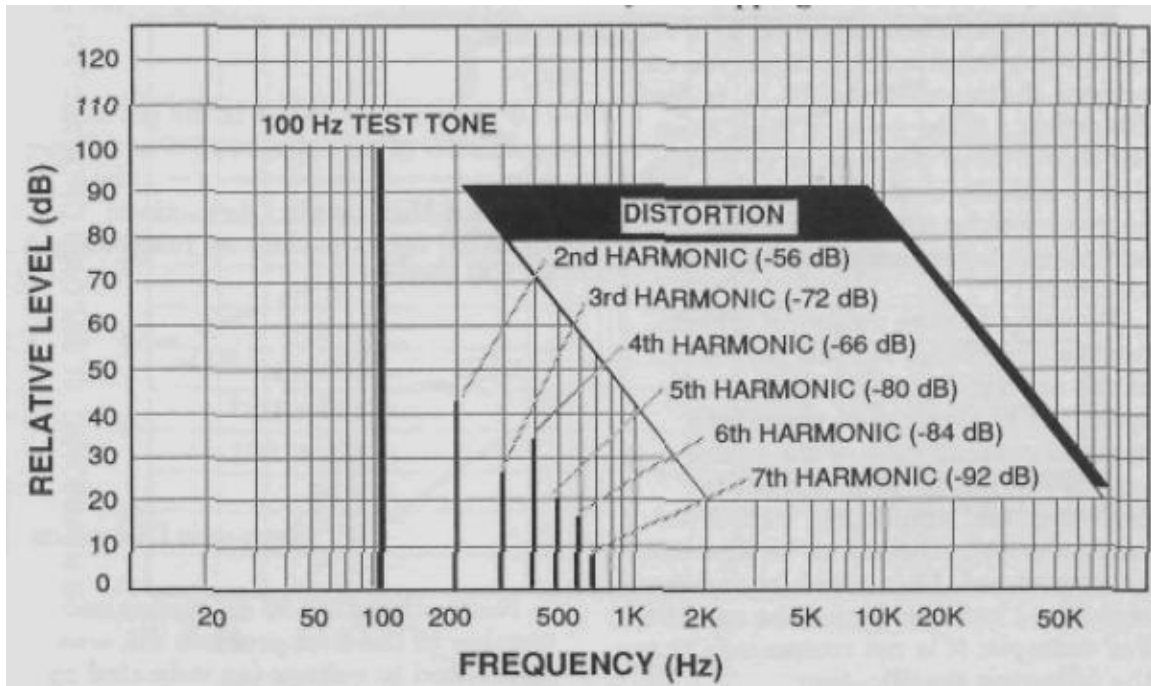
Θεωρητική εισαγωγή

Τι είναι η αρμονική παραμόρφωση

Η παραμόρφωση (distortion) είναι μια οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή που εμφανίζεται σε ένα ακουστικό σήμα. Υπάρχουν πολλοί τύποι παραμορφώσεων. Η παραμόρφωση μπορεί να αλλάξει το εύρος, να αλλάξει τη φάση ή να δημιουργήσει νόθες συχνότητες (spurious), που δεν ήταν παρούσες στο σήμα εισόδου. Η αρμονική παραμόρφωση είναι μια μορφή αυτού του τελευταίου τύπου παραμόρφωσης.

Η αρμονική παραμόρφωση “χρωματίζει” τον ήχο και τον καθιστά αφύσικο, ενώ υπό συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των μεγαφώνων. Υπάρχουν όμως και κάποιες φορές όπου η παραμόρφωση είναι επιθυμητή, κυρίως στα συστήματα ενισχυτών/ηχείων για ηλεκτρικές κιθάρες, όπου ο χρωματισμός που προκαλείται από τη παραμόρφωση γίνεται μέρος του ήχου που ο μουσικός επιδιώκει να δημιουργήσει. Ένα ακόμα παράδειγμα είναι ο επεξεργαστής σήματος, exciter, που λαμπρύνει (bright) τον ήχο χρησιμοποιώντας παραμόρφωση στο υψηλών συχνοτήτων μέρος του σήματος. Αυτές όμως είναι οι εξαιρέσεις στον κανόνα και μπορούμε λίγο πολύ να υποθέσουμε ότι η παραμόρφωση είναι γενικά κάτι που πρέπει να αποφεύγεται.

Η αρμονική παραμόρφωση αποτελείται από μια ή περισσότερες νέες συνιστώσες του σήματος που δεν υπήρχαν προηγουμένως στο σήμα και οι συχνότητες τους είναι ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας του αρχικού σήματος. Για παράδειγμα, εάν ένα ημιτονικό σήμα 100 Hz οδηγηθεί στην είσοδο μιας συσκευής, τότε στην έξοδο της εκτός από τα 100 Hz, θα εμφανισθούν και οι αρμονικές του (200, 300, 400 ... Hz), οι οποίες αποτελούν την αρμονική παραμόρφωση.



Σχήμα 21: Γραφική αναπαράσταση της αρμονικής παραμόρφωσης.

Πως περιγράφεται η αρμονική παραμόρφωση

Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (*Total Harmonic Distortion, THD*) ορίζεται ως ένας λόγος του αθροίσματος των αρμονικών τάσεων προς την τάση της θεμέλιας.

$$THD_V = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}$$

όπου V_h είναι η rms τιμή της h αρμονικής τάσης,

V_1 είναι η rms τιμή της θεμελιώδους συχνότητας της τάσης και

V_{rms} είναι η (ολική) rms τιμή της τάσης.

Η αρμονική παραμόρφωση περιγράφεται είτε σαν στάθμη σε dB της κάθε αρμονικής ως προς την στάθμη του σήματος μέτρησης, είτε σαν ποσοστό % της στάθμης του συνόλου των αρμονικών ως προς την στάθμη του σήματος μέτρησης στην έξοδο της συσκευής.

Σε dB θα είναι:



$$THD = 20 \times \text{Log} \left[\frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_x^2}}{V_1} \right]$$

Σε % ποσοστό θα είναι:

$$\% \text{ Distortion} = 100 \times 10^{-dB/20} \quad (\text{voltage})$$

$$\% \text{ Distortion} = 100 \times 10^{-dB/10} \quad (\text{power})$$

Ισχύει ότι:

$$dB = 20 \times \log \frac{\% \text{Distortion}}{100} \quad (\text{voltage})$$

$$dB = 10 \times \log \frac{\% \text{Distortion}}{100} \quad (\text{power})$$

Θυμηθείτε τις σχέσεις που μας δίδουν την πρόσθεση των dB:

$$\text{Ολικό dB} = 20 \times \log [10^{dB_1/20} + 10^{dB_2/20} + \dots + 10^{dB_n/20}] \quad (\text{voltage})$$

$$\text{Ολικό dB} = 10 \times \log [10^{Db_1/10} + 10^{dB_2/10} + \dots + 10^{dB_n/10}] \quad (\text{power})$$

Ας δούμε ένα παράδειγμα. Ποιο είναι το % ποσοστό αρμονικής παραμόρφωσης της 2^{ης} αρμονικής όταν αυτή είναι 60dB κάτω από σήμα +4 dBu;

$$\begin{aligned} \% \text{ Distortion} &= 100 \times 10^{-60/20} \\ &= 100 \times 10^{-3} \\ &= 100 \times 0.001 = 0.1\% \end{aligned}$$

Η πρώτη σχέση προκύπτει από τον ορισμό του dB για επίπεδα τάσης, όπως στην περίπτωση αυτή που είναι:

$$dB = 20 \log \frac{V_{2nd}}{V_0}, \quad \text{όπου } V_{2nd} \text{ το πλάτος της τάσης της 2}^{ης}$$

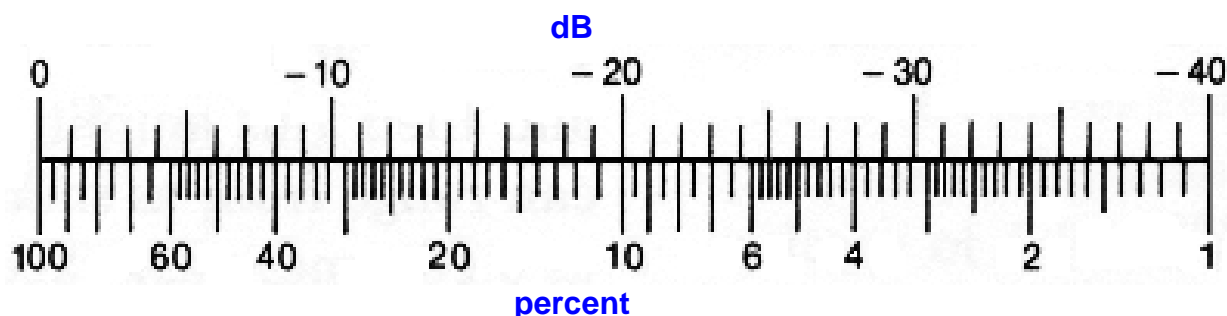
αρμονικής και V_0 το πλάτος του κυρίως σήματος.

Ένα παράδειγμα ακόμη. Ποιο είναι το % ποσοστό αρμονικής παραμόρφωσης της 2^{ης} αρμονικής όταν ξέρουμε ότι η ισχύς της είναι 30 dB κάτω από την ισχύ των 100 watt;

$$\begin{aligned}\% \text{ HD}_{\text{power}} &= 100 \times 10^{-30/10} \\ &= 100 \times 10^{-3} \\ &= 100 \times 0.001 = 0.1\%\end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η αρμονική παραμόρφωση που μετράμε είναι 0.01 %, ωστόσο τα dB που μας δίνονται από τις προδιαγραφές είναι διαφορετικά. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν έχουμε dB τάσεων οι τιμές είναι διπλάσιες από τα dB ισχύων.

Αυτός είναι και ο λόγος που συχνότερα στις προδιαγραφές η αρμονική παραμόρφωση μετριέται σε % ποσοστό.



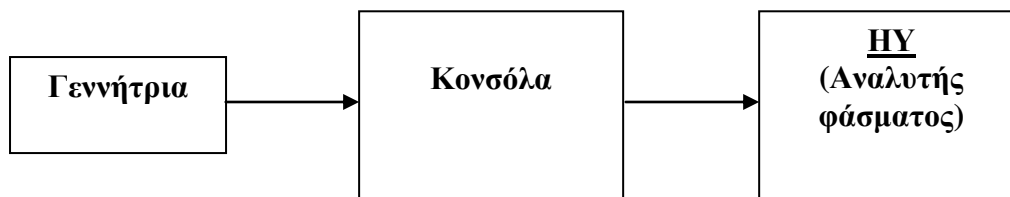
Σχήμα 22: Μετατροπή THD από dB σε % (και αντιστρόφως).

Πειραματικό μέρος

Η μέτρηση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης θα γίνει μετά από την παρατήρηση και ανάλυση του φάσματος της εξόδου της συσκευής.

Στην άσκηση αυτή θα μετρήσουμε την ολική αρμονική παραμόρφωση στην κονσόλα, για το σημείο που εμφανίζεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού του σήματος.

1) Συνδέστε μια γεννήτρια σήματος με την είσοδο της κονσόλας και την έξοδο της κονσόλας με την κάρτα ήχου υπολογιστή εφοδιασμένου με λογισμικό κατάλληλο για ανάλυση φάσματος (Spectrum Analyzer).



Σχήμα 22: Συνδεσμολογία για την μέτρηση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης κονσόλας.

2) Βάλτε το ρυθμιστικό Main Out της κονσόλας στην θέση 0 dB και το ρυθμιστικό Level του καναλιού στο οποίο έχετε συνδέσει το σήμα εισόδου στην μεσαία θέση.

3) Ρυθμίστε το ρυθμιστικό Gain στη θέση στην οποία μόλις ανάβει το Led με την ένδειξη Peak.

4) Πάρτε μετρήσεις για τα πλάτη των αρμονικών και της θεμέλιας συχνότητας.

5) Υπολογίστε την ολική αρμονική παραμόρφωση σε dB και σε ποσοστό % σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις.



Βιβλιογραφία

SOUND REINFORCEMENT HANDBOOK, Written for Yamaha by Gary Davis & Ralph Jones, Second Edition, Hal-Leonard Corporation 1990.

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ, F. Alton Everest, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε., 1998.

ΗΧΟΣ & ΜΟΥΣΙΚΗ, Λουκάς Χαδέλλης, Τόμος Ι, Εκδόσεις Σύγχρονη Μουσική, 2004.

ΗΛΕΚΤΡΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, Γ. Παπανικολάου, University Studio Press A.E., 1985.

ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (P.A.), Χρήστος Καρακίτσιος, Εκδόσεις “ΙΩΝ”, 2001.

ΜΟΥΣΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, Χαράλαμπος Σπυρίδης, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 2001.

ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ & ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, Σπύρος Ι. Λουτρίδης, Εκδόσεις “ΙΩΝ”, 2009.