



ΑΣΚΗΣΗ 3

Φασματική Ανάλυση

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σκοπός αυτής της άσκησης είναι η φασματική ανάλυση διαφόρων ήχων με το φορητό ηχόμετρο και η εξέταση τους με βάση τα φάσματά τους.



1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

Διπλή περιγραφή ήχων: Κυματομορφή - Φάσμα

Κάθε σήμα / ηχητικό κύμα έχει δύο ισοδύναμους τρόπους περιγραφής του:

- (1) Το πλάτος της πίεσης (ή έντασης ή ενέργειας ή ισχύος) ως προς το χρόνο (κυματομορφή) και
- (2) Το πλάτος της πίεσης (ή έντασης ή ενέργειας ή ισχύος) ως προς τη συχνότητα (φάσμα).

Τον πρώτο τον λαμβάνουμε με έναν παλμογράφο, τον δεύτερο με έναν αναλυτή φάσματος.

Και οι δύο περιγραφές αποτελούν δύο όψεις του ίδιου νομίσματος. Κάποιες φορές μπορεί είναι ευκολότερος στην περιγραφή και κατανόηση ο ένας και κάποιες φορές ο άλλος. Επίσης κάποιες φορές μπορεί να αναδεικνύει τις πληροφορίες που αναζητούμε ο ένας και κάποιες ο άλλος. Επίσης, όποια επεξεργασία υποστεί το σήμα στο ένα πεδίο περιγραφής, κάποια αντίστοιχη θα υποστεί και στο άλλο.

Το ισοδύναμο των δύο περιγραφών βασίζεται στο θεώρημα του Fourier, σύμφωνα με το οποίο κάθε σύνθετη κυματομορφή (με κάποιους περιορισμούς) μπορεί να αναλυθεί (ή να κατακερματιστεί) σε μια σειρά από ημίτονα με συγκεκριμένες συχνότητες, πλάτη και φάσεις. Μπορούμε, λοιπόν, να ορίσουμε μια σύνθετη κυματομορφή ως ένα σύνθετο τόνο που αποτελείται από ένα πλήθος απλών τόνων.

Το ίδιο το ανθρώπινο αυτί, πάντως, πρώτα ανιχνεύει αλλαγές στην πίεση με το χρόνο και στη συνέχεια αναλύει το κύμα στις αρμονικές του.

Η γενική σχέση που συνδέει χρόνο και συχνότητα είναι: $f = 1/T$.

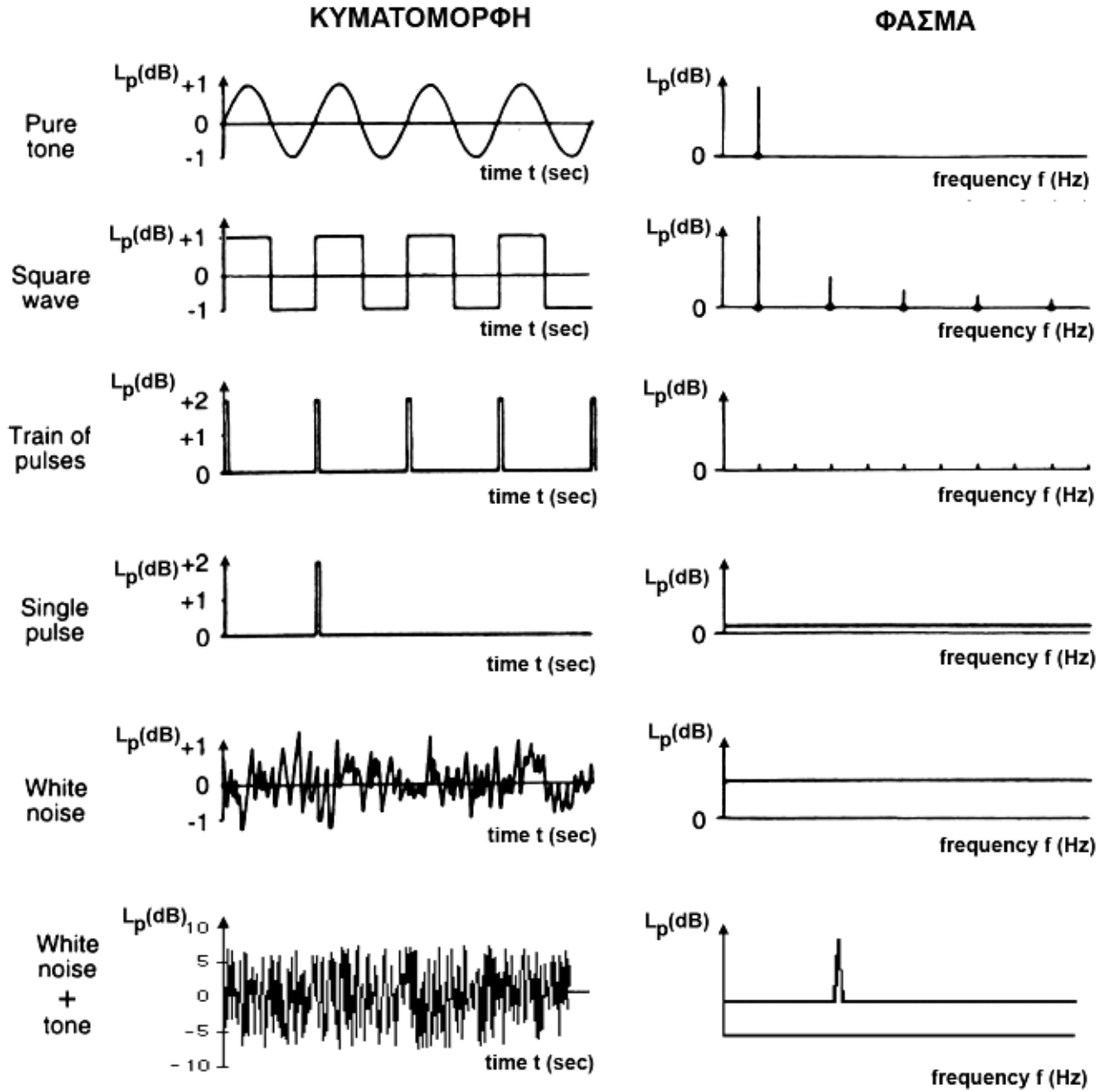
Παρακάτω δίνουμε τα διαγράμματα και στα δύο πεδία κάποιων βασικών ηχητικών κυμάτων:

Για περιοδικούς ήχους μακράς διάρκειας η ενέργεια κατανέμεται σε συγκεκριμένες διακριτές συχνότητες (line spectrum), όπως για παράδειγμα:

- (α) το καθαρά ημιτονοειδές κύμα, που περιέχει μία και μόνη συχνότητα,
- (β) Το τετραγωνικό κύμα, που αποτελείται από τις περιπτές αρμονικές της θεμελιώδους, με ελαττούμενα πλάτη και
- (γ) Η σειρά στενών παλμών, που περιέχει όλες τις αρμονικές σε ίσα πλάτη (πολύ χαμηλά).

Επίσης, παρατηρούμε ότι ο λευκός θόρυβος και ο παλμός έχουν συνεχές και σταθερό φάσμα, δηλαδή τα πλάτη δε μεταβάλλονται (ισχύει μόνο για πολύ σύντομους παλμούς). Αν και τα φάσματα φαίνονται να είναι ίδια, υπάρχουν οι εξής ουσιαστικές διαφορές:

- (1) Το φάσμα (τα πλάτη) του παλμού είναι πολύ χαμηλότερο, αφού η ηχητική ενέργεια ενός τόσο σύντομου ήχου διαμοιράστηκε σε όλες τις συχνότητες και
- (2) Διαφέρουν στις σχετικές φάσεις των επιμέρους συχνοτήτων από τις οποίες αποτελούνται. Στον παλμό όλες έχουν αρχική φάση 90° (στο $t=0$), ενώ στο λευκό θόρυβο οι φάσεις είναι κατανεμημένες με τυχαίο τρόπο.

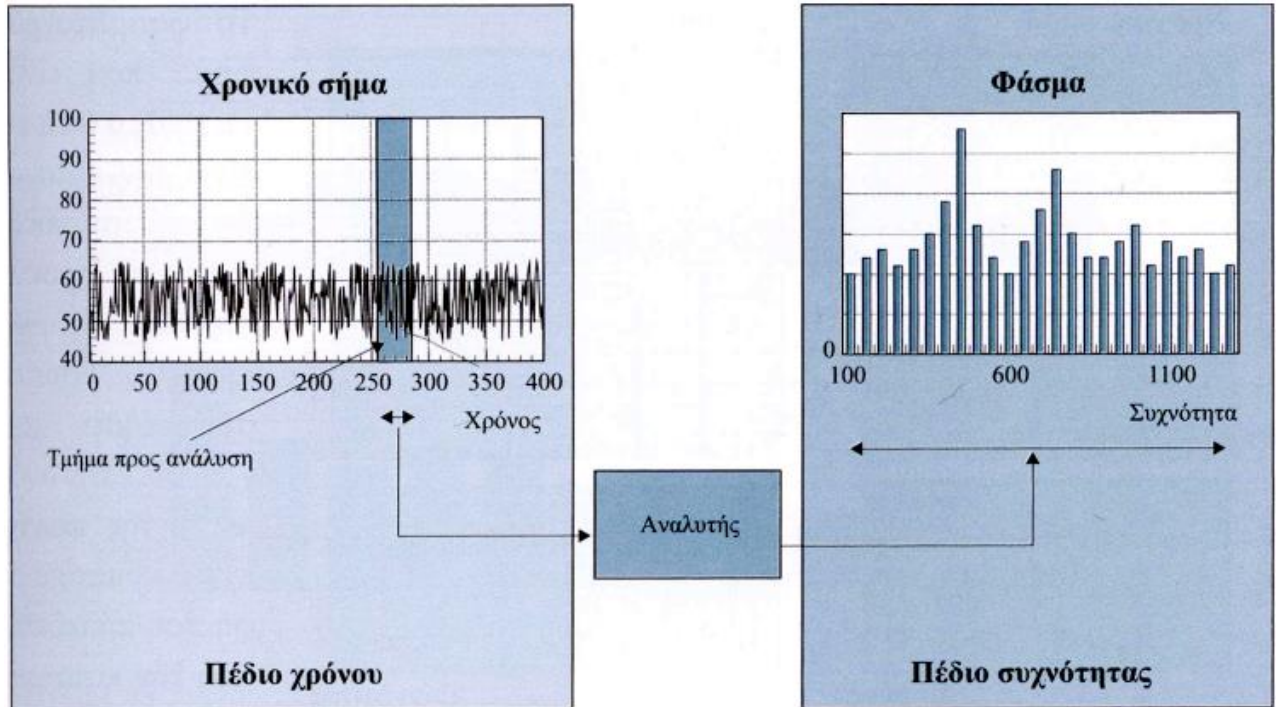


Σχήμα 1. Τυπικά φάσματα [8]

Φασματικοί Αναλυτές

Το ηχόμετρο μας δίνει μία μόνο τιμή που χαρακτηρίζει ένα ευρύ συχνοτικό φάσμα (ακουστό). Για να αναδείξουμε τις μεμονωμένα συχνοτικά χαρακτηριστικά που το συνθέτουν πρέπει να αναλύσουμε το μετρούμενο κύμα στο πεδίο των συχνοτήτων.

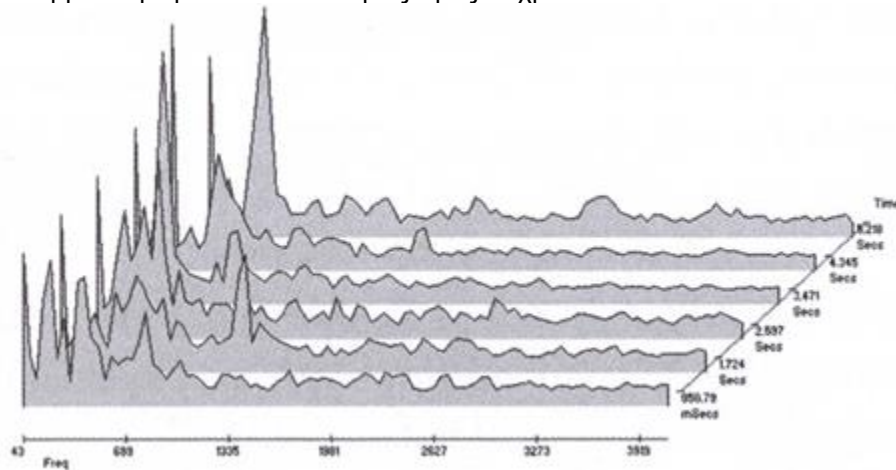
Η διαδικασία της μεταφοράς από τη χρονική στη συχνοτική απεικόνιση του ηχητικού κύματος ονομάζεται φασματική ανάλυση του ήχου. Οι συσκευές με τις οποίες γίνεται λέγονται φασματικοί αναλυτές και το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι το φάσμα.



Σχήμα 2. Συχνοτική ανάλυση σήματος – φασματικός αναλυτής [8]

Φασματογράφημα

Στο φάσμα που λαμβάνουμε χάνουμε τη σχέση με τη χρονική εξέλιξη του ήχου. Όταν θέλουμε να τα συνδέσουμε λαμβάνουμε ένα φασματογράφημα. Αυτό είναι μια τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής των συχνοτήτων που λαμβάνουμε με FFT ανάλυση ως προς το χρόνο.



Σχήμα 3. Φασματογράφημα [8]

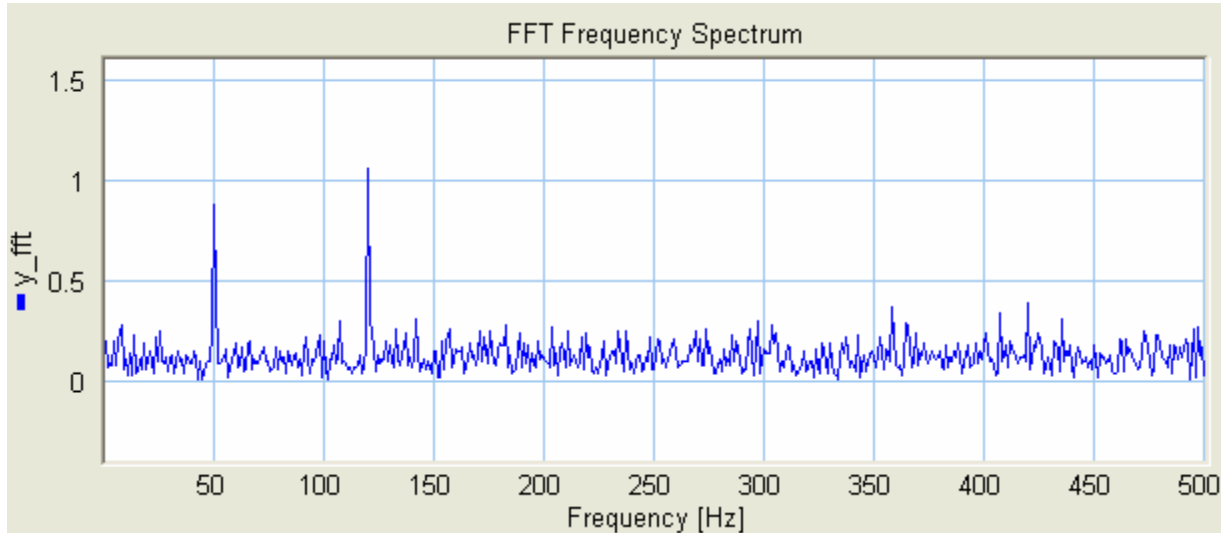


Κατηγορίες φασματικών αναλυτών

Οι φασματικοί αναλυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

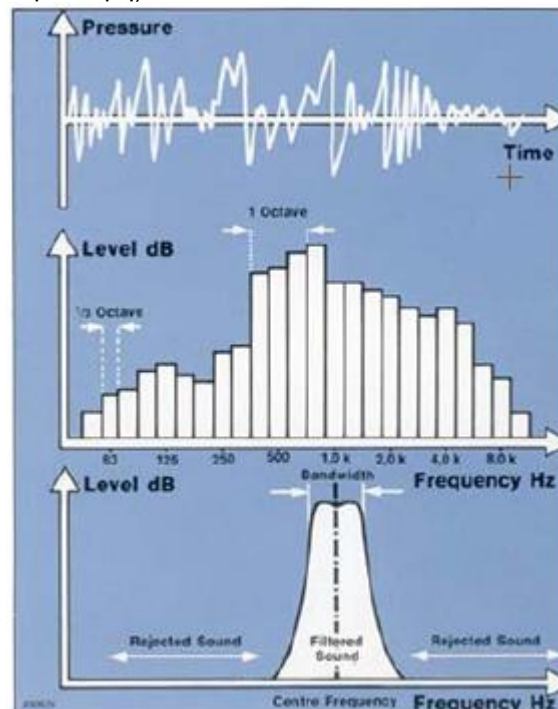
- (1) Τους **ψηφιακούς - FFT** και
- (2) Τους **αναλογικούς - πραγματικού χρόνου**.

- (1) Στην FFT ανάλυση (Fast Fourier Transform – γρήγορος μετασχηματισμός Fourier) το σύστημα λαμβάνει δείγματα του κύματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με τα οποία τροφοδοτεί τον αλγόριθμο του FFT.



Σχήμα 4. FFT ανάλυση [16]

- (2) Στην περίπτωση των φασματικών αναλυτών πραγματικού χρόνου οδηγούμε το σήμα, παράλληλα, μέσα από ζωνο-περατά φίλτρα, τα οποία επιτρέπουν μόνο σε συγκεκριμένες κάθε φορά συχνοτικές περιοχές του κύματος να περάσουν. Το πλάτος της εξόδου των φίλτρων απεικονίζεται στον κάθετο άξονα (L_p), ενώ η συχνότητα του ήχου απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα (f). Έτσι λαμβάνουμε ένα φάσμα με την παρακάτω μορφή, δηλαδή με ράβδους. Κάθε ράβδος αντιστοιχεί σε μία ζώνη, όπου το πλάτος της είναι ίσο με το εύρος της ζώνης, ενώ το ύψος της είναι ίσο με την ηχητική στάθμη που αντιστοιχεί στη ζώνη (ζωνική στάθμη).



Σχήμα 5. Ανάλυση πραγματικού χρόνου [4]



Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- (α) Σαρώνοντας με ένα φίλτρο όλο το ακουστικό φάσμα που μας ενδιαφέρει και
 (β) Κάνοντας χρήση μιας σειράς φίλτρων, όπου καθένα καλύπτει διαδοχικά κομμάτια του συνολικού φάσματος.

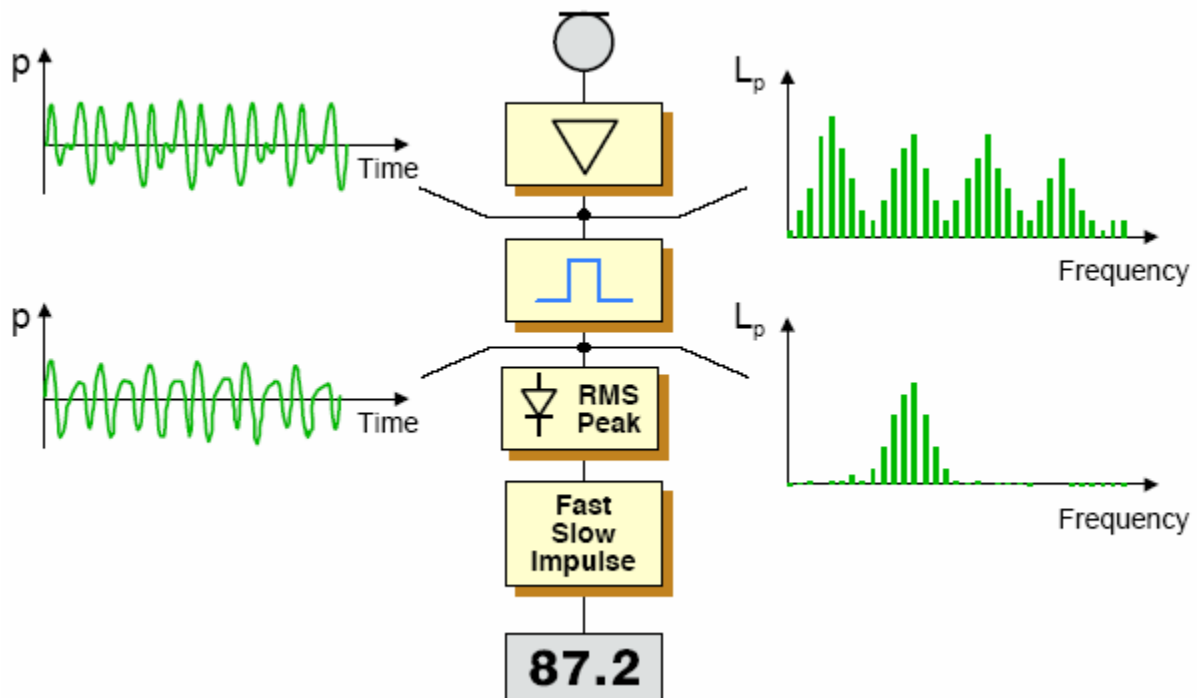
Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα:

- (α) Σειριακή ανάλυση: Ένα φίλτρο χρησιμοποιείται κάθε στιγμή →

- ανάλυση θα είναι χρονοβόρα και
- προϋπόθεση: το σήμα να παραμένει σταθερό, αλλά
- χαμηλότερο κόστος.

- (β) Παράλληλη ανάλυση: Όλα τα φίλτρα λειτουργούν ταυτόχρονα →

- ανάλυση γίνεται πολύ ταχύτερα και
- σήμα μπορεί να μεταβάλλεται, αλλά
- το κόστος αυτών των αναλυτών είναι υψηλότερο.



Σχήμα 6. Ανάλυση σήματος με φορητό ηχώμετρο [2]



Φίλτρα

Ζώνες συχνότητων

Υπάρχουν δύο τύποι φίλτρων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη φασματική ανάλυση:

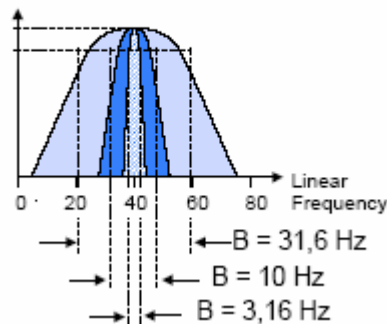
- (1) Σταθερού εύρους ζώνης (constant bandwidth filter) και
- (2) Σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης (constant percentage bandwidth – CPB filters).

- Σταθερού εύρους ζώνης

Στα φίλτρα σταθερού εύρους ζώνης αυτό που παραμένει σταθερό μεταξύ τους είναι το εύρος της ζώνης τους, δηλαδή η διαφορά των ακριανών συχνοτήτων που την ορίζουν, ανεξάρτητα από την κεντρική συχνότητα:

$$f_2 - f_1 = \text{σταθ.}$$

$$B = x \text{ Hz}$$



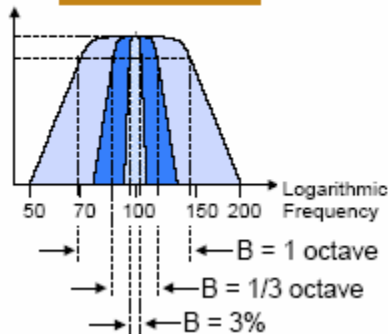
Σχήμα 7. Φίλτρο με ζώνη σταθερού εύρους [6]

- Μεταβλητού (σταθερού ποσοστιαίου) εύρους ζώνης

Στα φίλτρα σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης αυτό που παραμένει σταθερό είναι το ποσοστό της κεντρικής συχνότητας που αντιπροσωπεύει το εύρος της ζώνης, δηλαδή ο λόγος των ακριανών συχνοτήτων που την ορίζουν:

$$\frac{f_2}{f_1} = \text{σταθ.}$$

$$B = y\% = \frac{y \times f_0}{100}$$



Σχήμα 8. Φίλτρο με ζώνη σταθερού ποσοστιαίου εύρους [6]

Αυτό σημαίνει βεβαίως ότι στην πρώτη περίπτωση έχουμε ένα είδος γραμμικής ανάλυσης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση έχουμε ένα είδος λογαριθμικής ανάλυσης.

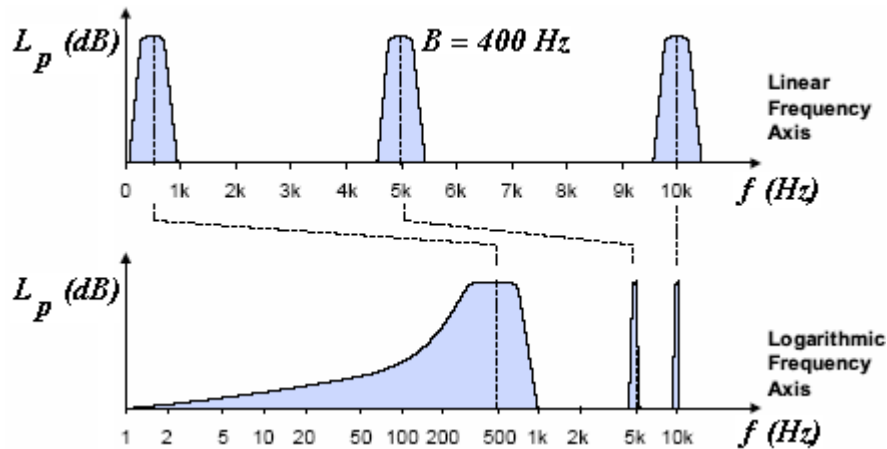


Παρουσίαση ανάλυσης

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι αν απεικονίσουμε τις παραπάνω αναλύσεις σε γραμμικό διάγραμμα, στην πρώτη περίπτωση όλες οι ζώνες θα είναι ίσες, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι ζώνες θα γίνονται μεγαλύτερες με την αύξηση της συχνότητας.

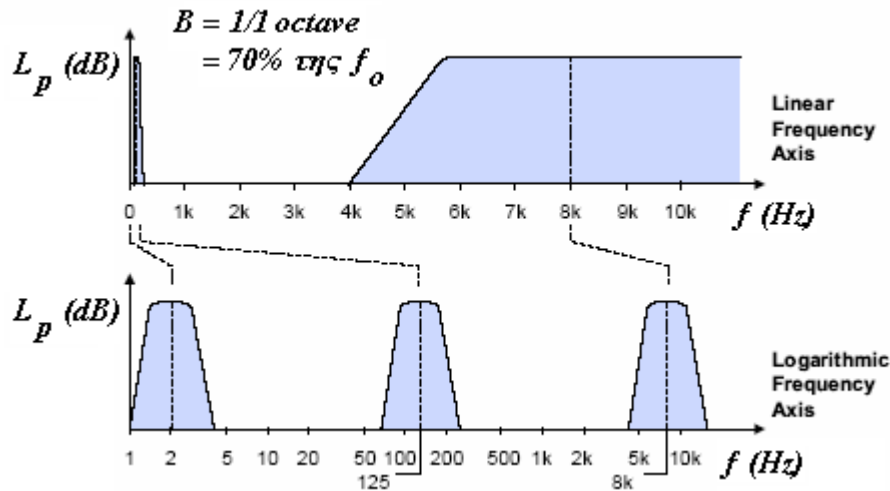
Επίσης, αν απεικονίσουμε τις παραπάνω αναλύσεις σε (ημι-)λογαριθμικό διάγραμμα, στην πρώτη περίπτωση οι ζώνες θα μικραίνουν με την αύξηση της συχνότητας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση όλες θα είναι ίσες.

Φασματική ανάλυση σταθερού εύρους ζώνης



Σχήμα 9. Φασματική ανάλυση σταθερού εύρους ζώνης σε γραμμική & λογαριθμική κλίμακα [6]

Φασματική ανάλυση σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης

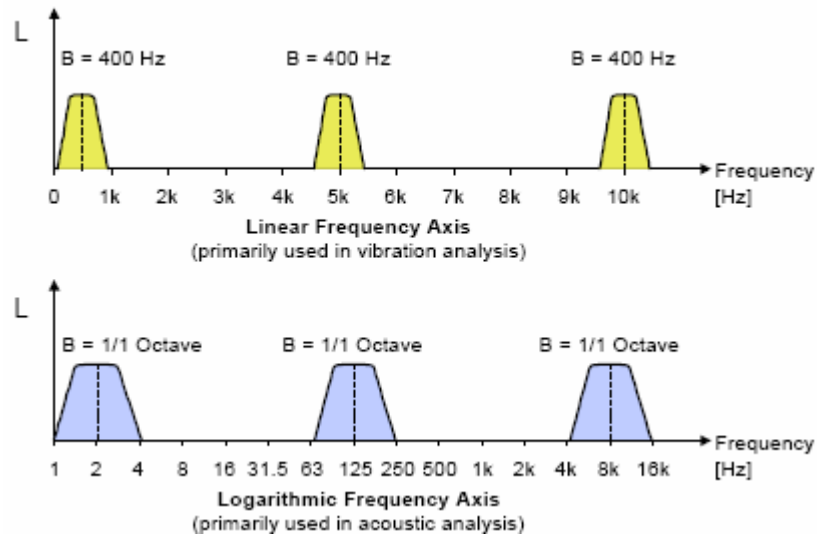


Σχήμα 10. Φασματική ανάλυση σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης σε γραμμική & λογαριθμική κλίμακα [6]



Συμπέρασμα

Σε κάθε είδος ανάλυσης επιλέγουμε και τον αντίστοιχο τρόπο γραφικής αναπαράστασης, δηλαδή:
 Για αναλυτή σταθερού εύρους ζώνης → γραμμική κλίμακα
 Για αναλυτή σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης → λογαριθμική κλίμακα.



Σχήμα 11. Ζώνες σταθερού εύρους και 1/1 οκτάβας [2]

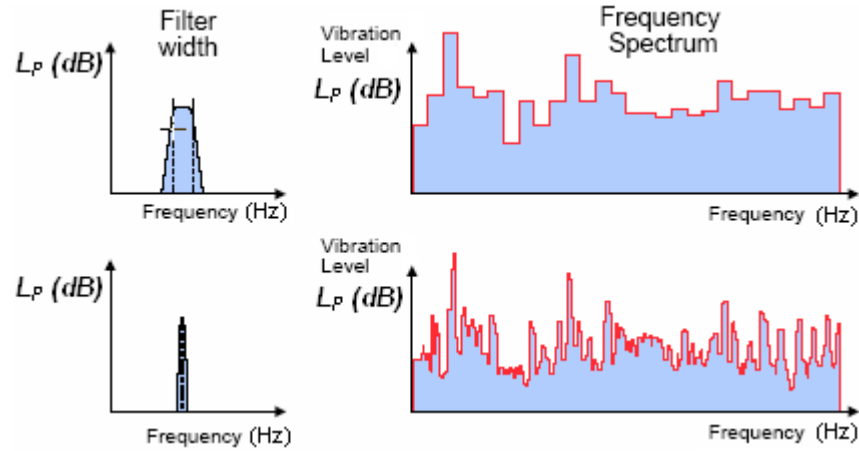
Κριτήριο επιλογής τύπου του φίλτρου

- Φασματική ανάλυση με φίλτρα σταθερού εύρους ζώνης (και γραμμική κλίμακα) γίνεται συνήθως σε μετρήσεις μηχανικών δονήσεων. Αυτό γίνεται, επειδή σε αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται κάποια αρμονικά χαρακτηριστικά μέσα στο φάσμα που πρέπει να μελετηθούν και τα οποία είναι πιο εύκολα αναγνωρίσιμα σε γραμμική κλίμακα. Ειδικά στις υψηλές συχνότητες η γραμμική κλίμακα παρέχει μεγαλύτερη συχνотική ανάλυση για τον παραπάνω σκοπό. Το μειονέκτημά της είναι ότι το ακουστικό φάσμα έχει πολύ μεγάλο εύρος το οποίο είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί ολόκληρο σε γραμμική κλίμακα (θα χαθεί η λεπτομέρεια).

- Η φασματική ανάλυση με φίλτρα σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης (και λογαριθμική κλίμακα) γίνεται κατά κανόνα σε ακουστικές μετρήσεις γιατί η λογαριθμική ανάλυση προσομοιάζει καλύτερα τον τρόπο απόκρισης της ανθρώπινης ακοής. Έχει το πλεονέκτημα ότι η λογαριθμική κλίμακα συμπιέζει την κλίμακα των συχνοτήτων, αλλά ταυτόχρονα υπολείπεται λεπτομέρειας σε σχέση με τη γραμμική.

Κριτήριο επιλογής εύρους ζώνης του φίλτρου

Σαφώς όσο στενότερη είναι μια ζώνη, τόσο πιο λεπτομερής είναι η ανάλυση και η πληροφορία που εξάγουμε. Ταυτόχρονα όμως θα πρέπει να έχει ένα λογικό μέγεθος, ώστε η ΑΝΑΛΥΣΗ να γίνεται σε λογικό χρόνο.

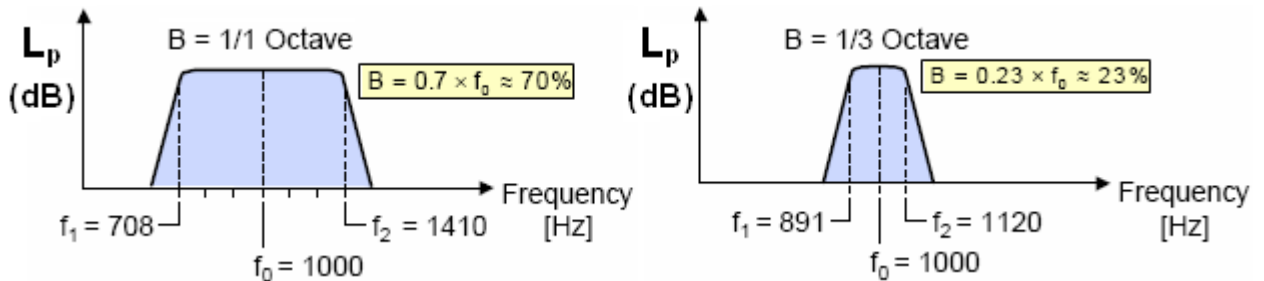


Σχήμα 12. Επιλογή εύρους ζώνης του φίλτρου [6]

Στους αναλυτές πραγματικού χρόνου είθισται να χρησιμοποιείται μία από τις παρακάτω ζώνες:

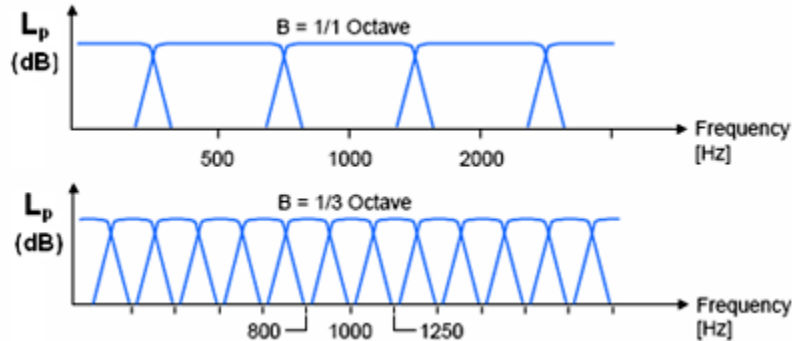
- **Οκταβική (1/1 oct)**, όπου $\frac{f_2}{f_1} = 2 = \text{σταθ.}$ (διπλάσια συχνότητα) και

- **Τριτο-οκταβική (1/3 oct)**, όπου $\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3} = \text{σταθ.}$



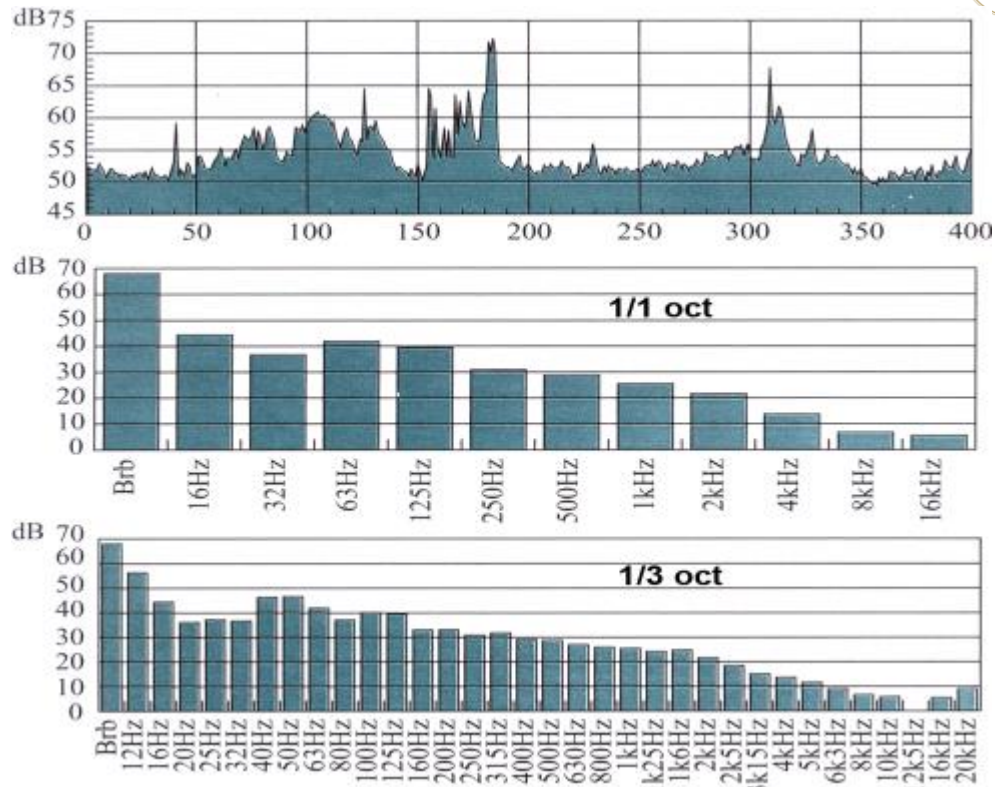
Σχήμα 13. Φίλτρα 1/1-οκτάβας και 1/3-οκτάβας [6]

1 οκτάβα αποτελείται από **3 τριτο-οκτάβες**:



Σχήμα 14. 3 φίλτρα 1/3-οκτάβας = 1 φίλτρο 1/1-οκτάβας [2]

- Εν γένει, για ***n*-οκταβική (1/*n* oct)** ανάλυση έχουμε: $\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/n} = \text{σταθ.}$



Σχήμα 15. Φάσμα από 1/1-οκταβική και 1/3-οκταβική ανάλυση τυχαίου θορύβου [8]

Στο σχήμα φαίνονται οι κεντρικές συχνότητες της κλασικής 1/1-οκταβικής & 1/3-οκταβικής ανάλυσης.

Κεντρική συχνότητα

Στις ζώνες σταθερού εύρους η κεντρική συχνότητα κάθε ζώνης υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των ακριανών συχνοτήτων, δηλαδή:

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

Στις ζώνες σταθερού ποσοστιαίου εύρους η κεντρική συχνότητα κάθε ζώνης υπολογίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος των ακριανών συχνοτήτων, δηλαδή:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

Υπολογισμός πλήθους οκτάβων

Αν για μια τυχαία περιοχή συχνοτήτων $f_{min} - f_{max}$ θέλουμε να γνωρίζουμε

- πόσες **οκταβες** χωράνε, τότε έχουμε:

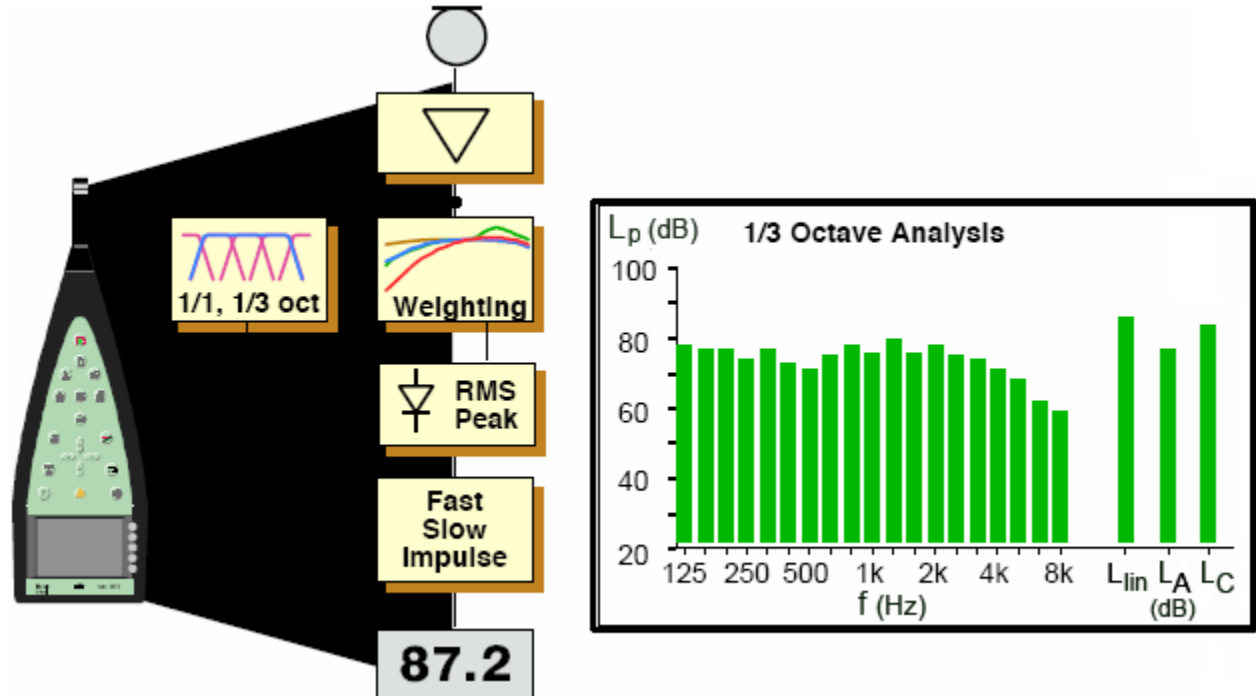
$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = 2^k \Leftrightarrow k_{oct} = \log_2 \frac{f_{max}}{f_{min}}$$

- Κάτι ανάλογο ισχύει και για τις **1/3-οκτάβες**:

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = (2^{1/3})^k = 2^{k/3} \Leftrightarrow \log_2 \left(\frac{f_{max}}{f_{min}} \right) = \frac{k}{3} \Leftrightarrow k_{1/3-oct} = 3 \cdot \log_2 \frac{f_{max}}{f_{min}}$$

- Και για **1/n-οκτάβες**: $k_{1/n-oct} = n \cdot \log_2 \frac{f_{max}}{f_{min}}$

Φασματικός αναλυτής φορητού ηχομέτρου



Σχήμα 16. Φασματική ανάλυση φορητού ηχομέτρου [2]

Τα φορητά ηχώμετρα πραγματοποιούν αναλύσεις πραγματικού χρόνου, σε οκτάβες ή τρίτο-οκτάβες και μας δίνουν το φάσμα στην μορφή που φαίνεται (με ράβδους). Ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας σταθμιστικά φίλτρα μας παρέχουν και τη συνολική στάθμη του ήχου που προέρχεται από όλες τις ζώνες.

Στην οθόνη του φορητού ηχομέτρου ένας ήχος που έχει ίσα ποσά ενέργειας σε κάθε οκτάβα θα παρουσιάζει επίπεδη απόκριση.

Υπολογισμός συνολικής στάθμης από τη στάθμη των επιμέρους φασματικών περιοχών

Αν από τη φασματική ανάλυση γνωρίζουμε την ηχητική στάθμη που αντιστοιχεί σε κάθε επιμέρους ζώνη (δηλαδή την τιμή κάθε μίας ράβδου στο φάσμα που μας δίνει το ηχώμετρο), τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική στάθμη εκπομπής του ήχου για μία περιοχή του φάσματος.

Θα πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη μας τη διαφορετική ευαισθησία και μη γραμμική απόκριση της ανθρώπινης ακοής ως προς τη συχνότητα. Γι' αυτό και θα πρέπει οι στάθμες που θα προσθέσουμε (λογαριθμικά) να είναι πρώτα σταθμισμένες με το κατάλληλο φίλτρο

Έτσι, θα έχουμε:

$$(L_{p-ολ})_A = 10 \cdot \log(10^{(L_{p-f1})_A/10} + 10^{(L_{p-f2})_A/10} + \dots)$$

Σε περίπτωση που η φασματική ανάλυση μας δίνει τις γραμμικές τιμές του L_p, τότε θα πρέπει να υπολογίσουμε τις αντίστοιχες σταθμισμένες τιμές από τα σταθμιστικά φίλτρα και στη συνέχεια να κάνουμε τη λογαριθμική πρόσθεση.



Μελέτη / Φασματική ανάλυση θορύβου

Θόρυβος

Όπως έχουμε δει, υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τον «θόρυβο». Σύμφωνα με τον κανονισμό του ΕΛΟΤ: **Θόρυβος ονομάζουμε κάθε απεριοδικό σύνθετο ήχο, που η στιγμιαία του τιμή αυξομειώνεται γενικά με τυχαίο τρόπο.**

Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από τη συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων.

Υπάρχουν δύο κλασικά είδη θορύβου, τα οποία μάλιστα χρησιμοποιούνται συχνά και σε ακουστικές μετρήσεις:

Λευκός θόρυβος

Ο λευκός θόρυβος περιέχει ένα ευρύ φάσμα από τυχαίους θορύβους (τυχαία κατανομή στάθμης). Η ηχητική του ενέργεια κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το φάσμα των συχνοτήτων, δηλαδή έχει σταθερή ηχητική πυκνότητα ή αλλιώς περικλείει την ίδια ηχητική ενέργεια (ή στάθμη) ανά Hz.

Σύμφωνα με τον κανονισμό του ΕΛΟΤ:

Λευκός θόρυβος είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει και σταθερή φασματική πυκνότητα.

$$p_f^2 = \text{σταθ.}$$

Ροζ θόρυβος

Ο ροζ θόρυβος περιέχει επίσης ένα ευρύ φάσμα από τυχαίους θορύβους. Διαθέτει όμως περισσότερη ηχητική ενέργεια στις χαμηλές συχνότητες και μπορεί να προκύψει από το λευκό με φιλτράρισμα. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι περικλείει την ίδια ηχητική ενέργεια ανά οκτάβα.

Σύμφωνα με τον κανονισμό του ΕΛΟΤ:

Ροζ θόρυβος είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα με σταθερή ηχητική ισχύ σε κάθε φασματική ζώνη μεταβλητού ζωνικού εύρους.

$$p_f^2 = \frac{k}{f}$$

Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε για τους δύο διαφορετικούς τύπους φίλτρων και τις αντίστοιχες κλίμακες: Αν πραγματοποιήσουμε φασματική ανάλυση με σταθερό εύρος ζώνης και απεικονίσουμε το λευκό θόρυβο σε γραμμική κλίμακα, θα πρέπει αυτός να απεικονίζεται με μία κατά μέσον όρο σταθερή γραμμή, παράλληλη προς τον άξονα των συχνοτήτων. Στην αντίστοιχη ανάλυση, εφόσον ο ροζ περιέχει μεγαλύτερα ποσά ηχητικής ενέργειας στις χαμηλές συχνότητες, θα παριστάνεται στην ίδια (γραμμική) κλίμακα από μια

ευθεία με κλίση -3 dB/oct

Αν πραγματοποιήσουμε φασματική ανάλυση με σταθερό ποσοστιαίο εύρος ζώνης, και απεικονίσουμε το λευκό θόρυβο σε λογαριθμική κλίμακα, εφόσον οι ζώνες γίνονται μεγαλύτερες με αύξηση της συχνότητας (και μάλιστα για οκταβική ανάλυση διπλασιάζονται), θα πρέπει αυτός να απεικονίζεται από μια ευθεία με

κλίση $+3 \text{ dB/oct}$. Αντίστοιχα, επειδή όσο αυξάνεται η συχνότητα τόσο μεγαλώνει το εύρος των ζωνών

ο ροζ έχει περισσότερη ενέργεια στις χαμηλότερες συχνότητες,

Δηλαδή αναλόγως με το είδος της ανάλυσης, θα έχουμε και διαφορετική κλίση στις ευθείες που αντιπροσωπεύουν τους θορύβους.



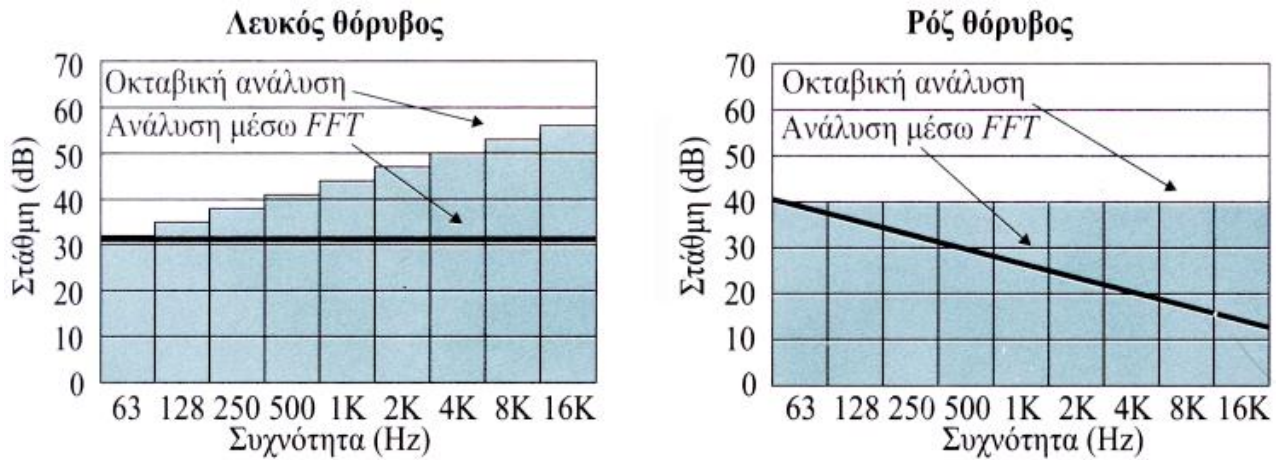
Επομένως έχουμε:

Σε ανάλυση σταθερού εύρους ζώνης / γραμμική κλίμακα:

- Λευκός θόρυβος: σταθερός
- Ροζ θόρυβος: $-3\text{dB}/\text{oct}$

Σε ανάλυση σταθερού ποσοστιαίου εύρους ζώνης / λογαριθμική κλίμακα:

- Λευκός θόρυβος: $+3\text{dB}/\text{oct}$
- Ροζ θόρυβος: σταθερός



Σχήμα 17. Λευκός και Ροζ θόρυβος σε γραμμική και λογαριθμική κλίμακα [8]



2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Brüel & Kjær. (1998), “*Basic concepts of sound*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [2] Brüel & Kjær. (1998), “*Basic frequency analysis*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [3] Brüel & Kjær. (1998), “*Environmental Noise*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [4] Brüel & Kjær. (1998), “*Measuring sound*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [5] Brüel & Kjær. (1998), “*Measuring vibration*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [6] Brüel & Kjær. (1998), “*Vibration measurement and analysis*”. At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [7] Moore C. B. (2001), “*An introduction to the psychology of hearing*”.
- [8] Σκαρλάτος Δ. (2003), “*Εφαρμοσμένη ακουστική*”.
- [9] Howard D., Angus J. (1996), “*Acoustics and Psychoacoustics*”.
- [10] Rossing T., Moore R., Wheeler P. (2002). “*The science of sound*”.
- [11] Κουτσοδημάκης Χ., Σηφάκης Μ., “*Εργαστηριακό Φυλλάδιο Μηχανικής Ήχου I*”.
- [12] Russel A. Daniel, “*Introduction to Frequency Analyzers*”. At: <http://www.gmi.edu/~drussell/GMI-Acoustics/Frequency-Frame.html>
- [13] PDA Acoustics Consultans. (2005). At: <http://www.pdaltd.com/Pages/leq.htm>
- [14] Acoustical Society of America, “*Classroom Acoustics*”. At: <http://www.nonoise.org/quietnet/qc/booklet.htm>
- [15] Dodge C., Jerse T., (1997). “*Computer music – Synthesis, Composition and Performance*”.
- [16] At: http://www.20sim.com/webhelp4/Toolboxes/frequency_domain/FFT_Analysis/FFTAnalysis.htm

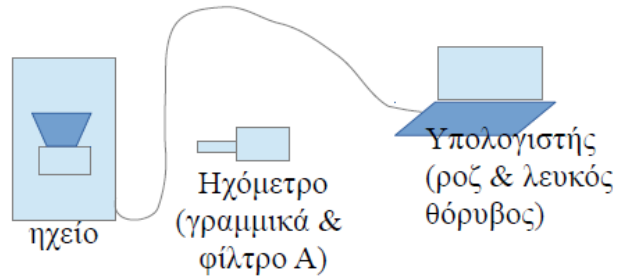


3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

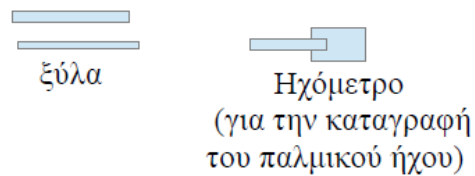
Πειραματική διάταξη

- Χρησιμοποιούμενες συσκευές: Η/Υ + {1},{2},{3},{5}
- Σχήμα / Κάτοψη χώρου (να γίνει κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου)

σχήμα 1(αφορά τις μετρήσεις 2,3,4)



σχήμα 2(αφορά την μετρήση 5)



[από παλιότερη εργασία φοιτητή]



Πειραματική διαδικασία

1. Να γίνει βαθμονόμηση του ηχομέτρου (calibration στα 94dB – 1kHz).
2. Να μετρηθεί η στάθμη θορύβου βάθους (background noise) της αίθουσας και να γίνει μαζί φασματική ανάλυση:

Θόρυβος βάθους	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	(B _{lin}) _{ολ}	(B _A) _{ολ}
B (dB _{lin} / A)	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _A

3. Να πραγματοποιηθεί φασματική ανάλυση 1/1 οκτάβας λευκού και ροζ θορύβου γραμμικά. Να μετρηθεί και η συνολική στάθμη σε κάθε περίπτωση, γραμμικά και με φίλτρο A:

Θόρυβος / f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	(L _{p lin}) _{ολ}	(L _{p A}) _{ολ}
Λευκός θόρυβος, L _p (lin)	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _A
Ροζ θόρυβος, L _p (lin)	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _A

4. Να πραγματοποιηθεί φασματική ανάλυση 1/3 οκτάβας για τα εξής δύο ηχητικά σήματα: φιλτραρισμένο λευκό θόρυβο στην οκτάβα του 1 kHz και καθαρό τόνο του 1 kHz. Να ληφθούν για κάθε περίπτωση 5 μετρήσεις, μία στη συχνότητα με τη μέγιστη στάθμη και οι υπόλοιπες σε 4 γειτονικές της συχνότητες.

Ήχος / f (Hz) [max]
Λευκός θόρυβος, L _p (lin)					
Καθαρός τόνος, L _p (lin)					

5. Να πραγματοποιηθεί φασματική ανάλυση εύρους 1/1 οκτάβας για δύο διαφορετικές περιπτώσεις παλμικών ήχων (παλαμάκι ή μπαλόκι και απότομο χτύπημα δύο ξύλων).

Παλμικός ήχος / f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Παλμικός ήχος 1, L _p (lin) (dB)	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}
Παλμικός ήχος 2, L _p (lin) (dB)	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}	dB _{lin}

Επεξεργασία μετρήσεων

1. Να κατασκευαστούν τα διαγράμματα log(f) – SPL των γραμμικών μετρήσεων 1 σε **κοινό** ημιλογαριθμικό χαρτί. Τι παρατηρείτε; Επιβεβαιώνεται η σχετική θεωρία; Πού πιστεύετε ότι οφείλονται τυχόν αποκλίσεις;
2. Να υπολογιστούν για το λευκό θόρυβο (μέτρηση 3) οι σταθμισμένες τιμές των στάθμων ηχητικής πίεσης με φίλτρο A για κάθε συχνότητα. Από αυτές να υπολογιστεί θεωρητικά η συνολική σταθμισμένη στάθμη πίεσης με φίλτρο A. Τέλος να γίνει σύγκριση της θεωρητικής και πειραματικής τιμής και να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.
3. Να υπολογιστούν οι κεντρικές συχνότητες των 1/3 oct της μέτρησης 4.
4. Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα της μέτρησης 4. Τι περιμέναμε και τι πήραμε; Επιβεβαιώνεται η θεωρία;
5. Να συγκριθούν ποιοτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων 5 για τους παλμικούς ήχους ως προς το φάσμα τους. Συμβαδίζουν τα αποτελέσματα με τη θεωρία;



Άσκηση για εργαστηριακή αναφορά

Να χωρίσετε το διάστημα 1 kHz – 2 kHz σε τρίτο-οκτάβες, δίνοντας και τις επιμέρους κεντρικές τιμές συχνοτήτων των ζωνικών περιοχών.