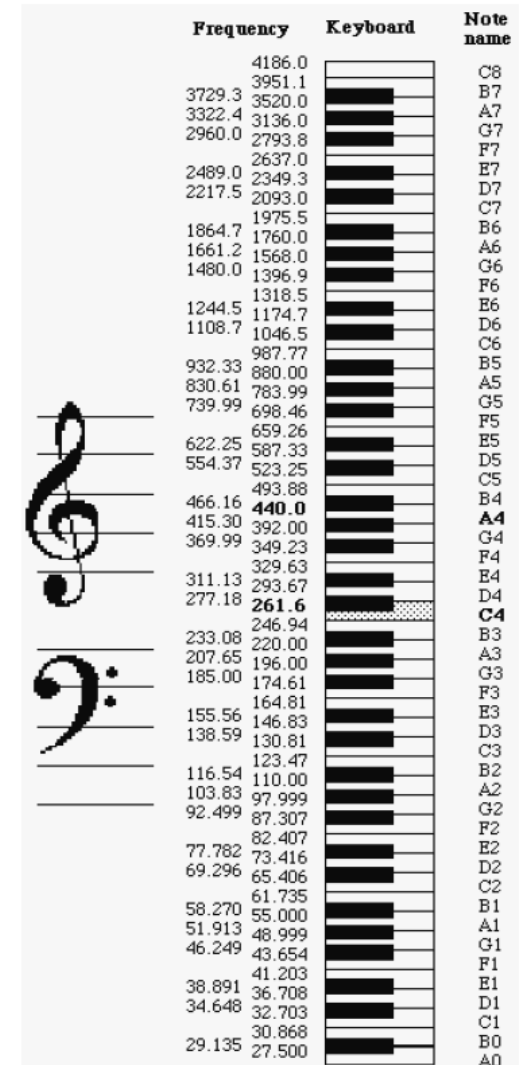


Μάθημα 3ο

Συχνοτικό εύρος της ακοής

Άνθρωπος	20 - 20.000
Σκύλος	15 - 50.000
Γάτα	60 - 65.000
Τζιτζικας	100 - 15.000
Δελφίνι	150 - 150.000
Νυχτερίδα	1000 - 120.000

*Πίνακας 2: Όρια ακουστών ήχων
συγκριτικά με τον άνθρωπο.
Η δεξιά στήλη του πίνακα
είναι προφανώς
τιμές συχνοτήτων σε Hz.*



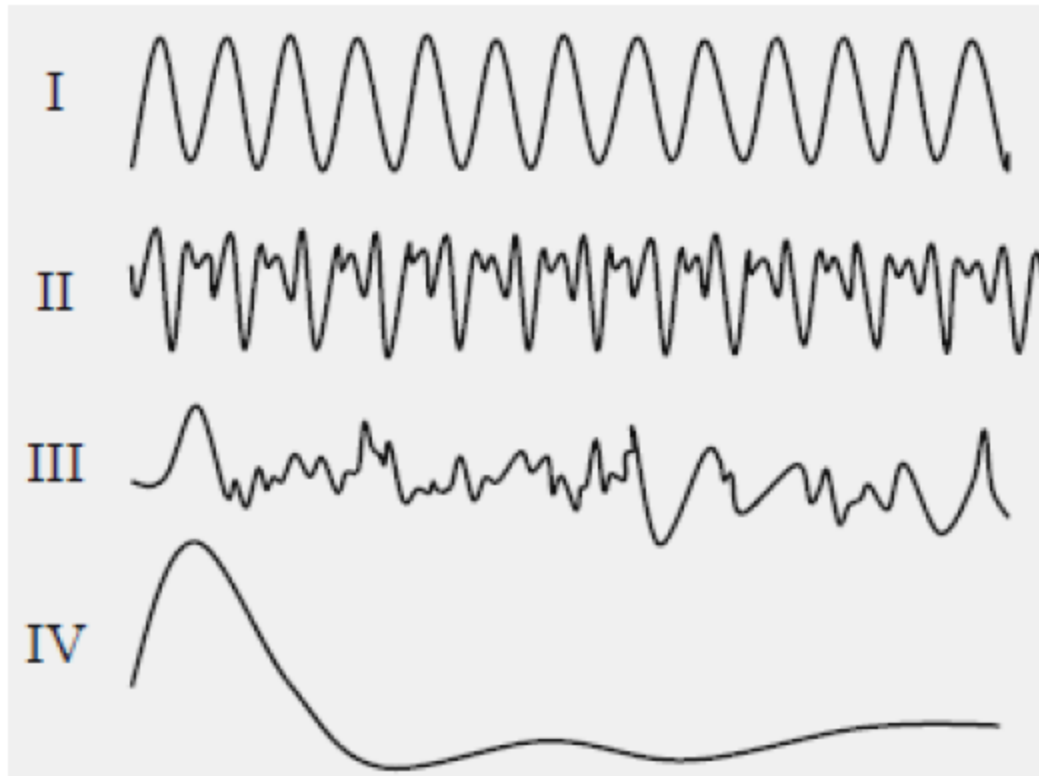
Συχνοτικές ζώνες

- Χαμηλά μπάσα: Εκτείνονται μέχρι τα 80 Hz.
- Χαμηλές μεσαίες: Από 250 έως 500 Hz.
- Μεσαίες: Από 500 έως 2000 Hz.
- Υψηλές μεσαίες: Από 2000 έως 5000 Hz.
- Υψηλές: Από 5000 έως 10000 Hz.
- Πολύ υψηλές: Από 10000 έως 20000 Hz.

Διαγράμματα πλάτους συχνότητας

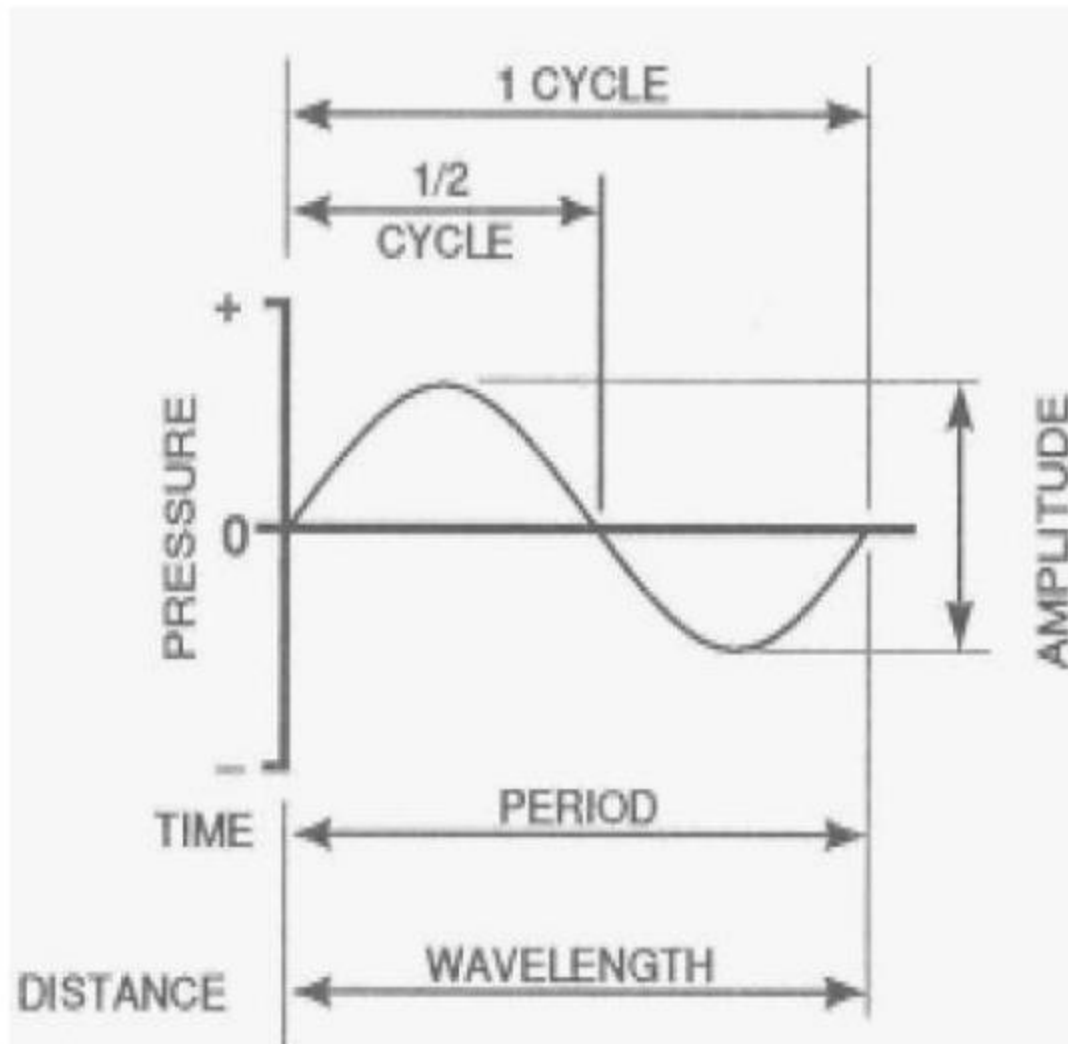
- Συχνοτικό περιεχόμενο προγράμματος
- Συχνοτική απόκριση ηχητικού συστήματος

Διάφοροι ήχοι

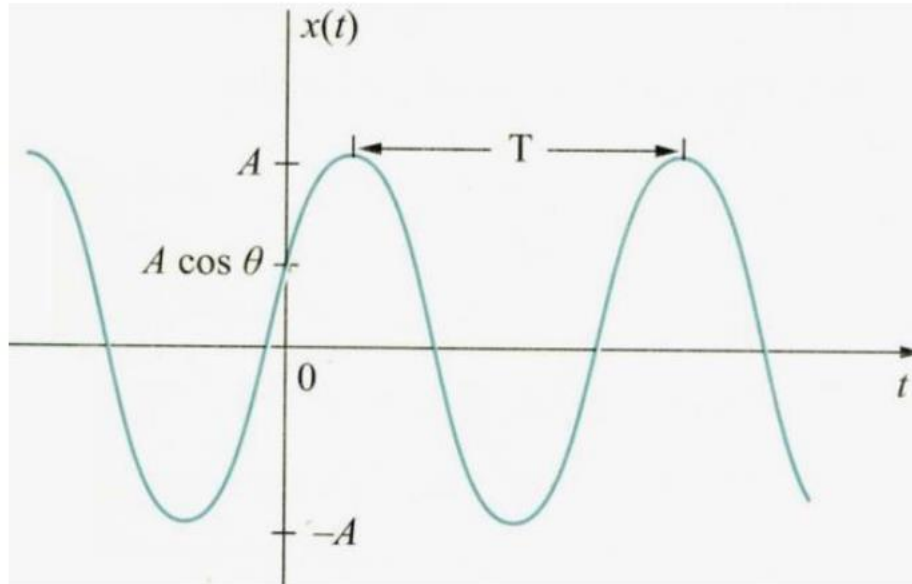


Σχήμα 2: Γραφικές παραστάσεις ενός απλού ήχου(I), ενός σύνθετου ήχου(II), ενός θορύβου(III) και ενός κρότου(IV).

Συχνότητα και φάση



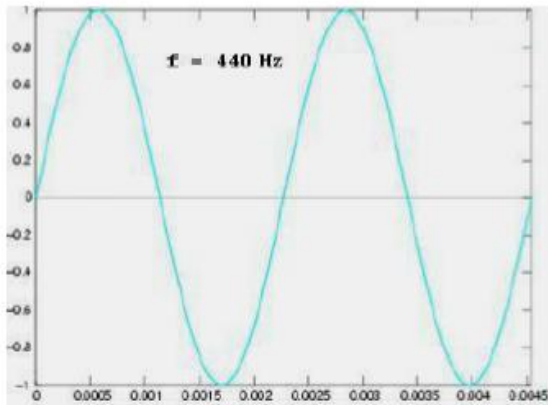
Συχνότητα και φάση



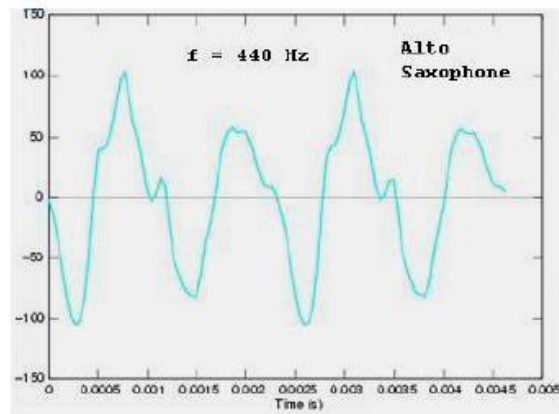
Σχήμα 6: Κυματομορφή ημιτονικού σήματος. Στον οριζόντιο άξονα αναπαρίσταται ο χρόνος και στον κατακόρυφο το πλάτος (ή ένταση) της ταλάντωσης.

Χροιά

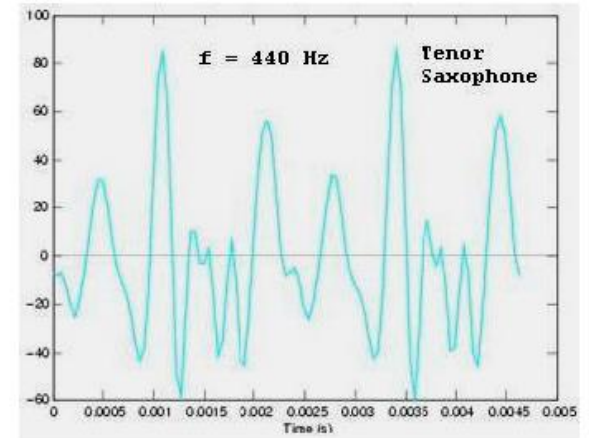
Διαπασών



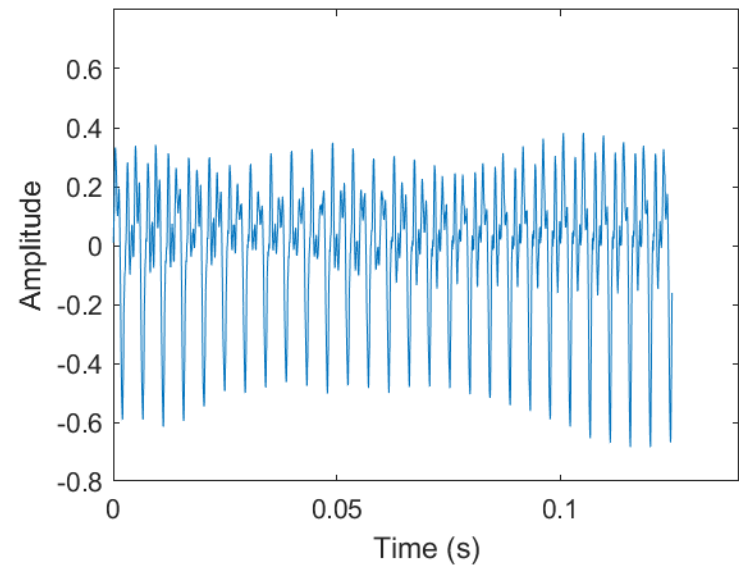
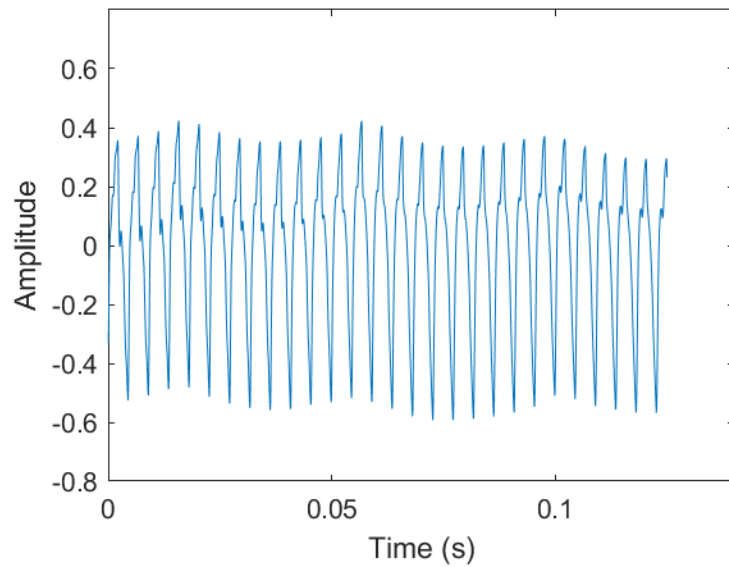
Alto Σαξόφωνο

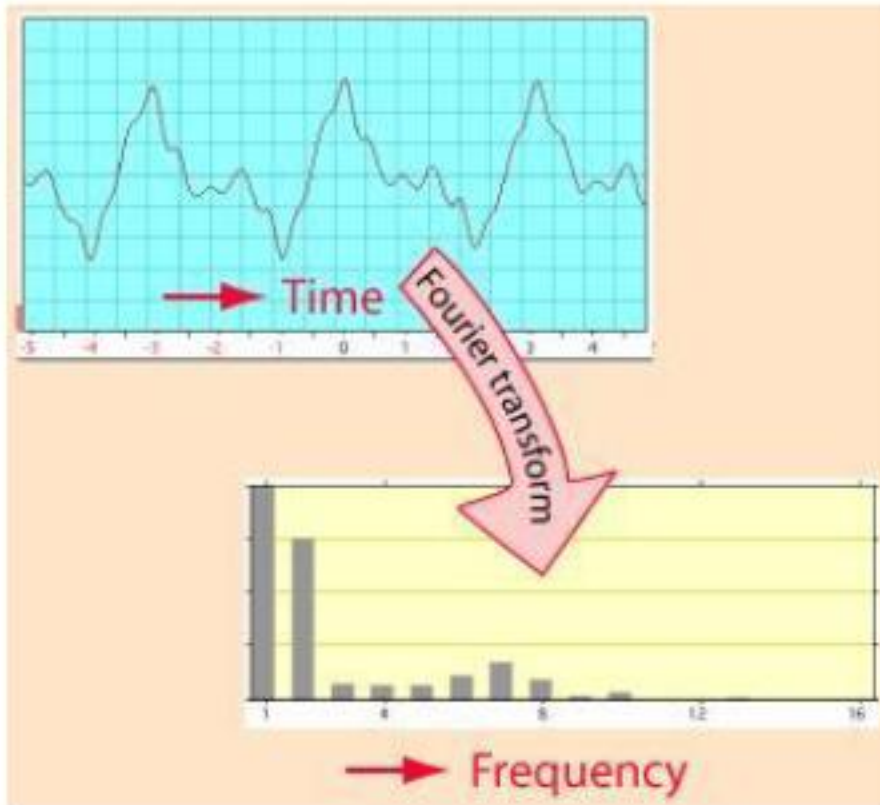


Tenor Σαξόφωνο



Ίδιο ύψος, διαφορετική χροιά





Μαθηματικός συμβολισμός

$$x(t) \rightarrow X(\omega)$$

ή

$$x(t) \rightarrow X(f)$$

$$\omega = 2\pi f$$

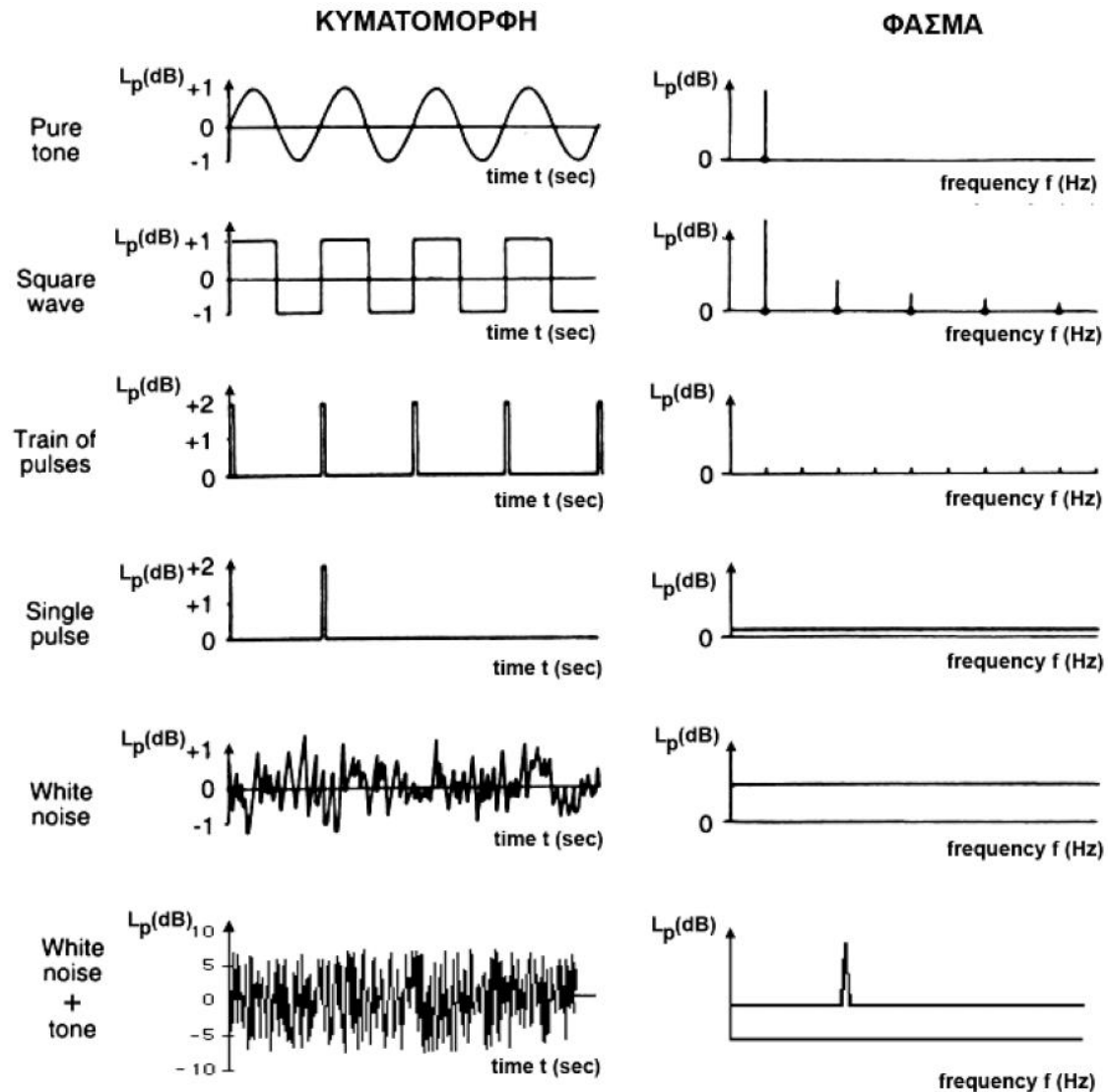
$$X(\omega) = \alpha + \beta j$$

$$\text{Πλάτος} = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

$$\text{Φάση} = \epsilon\phi^{-1}\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)$$

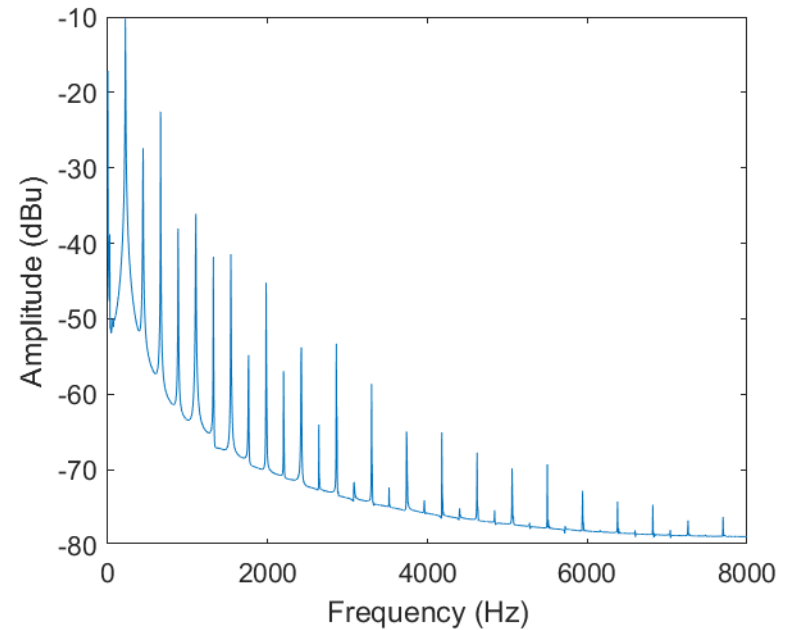
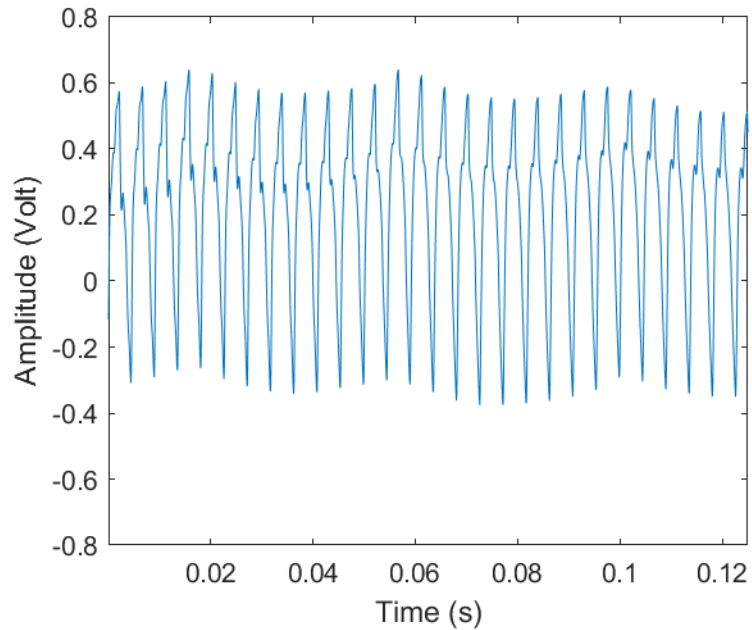
Σχήμα 13: Από την ανάλυση στο πεδίο του χρόνου στην ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων με τον μετασχηματισμό Fourier.

Αναπαράσταση σήματος στο πεδίο της συχνότητας

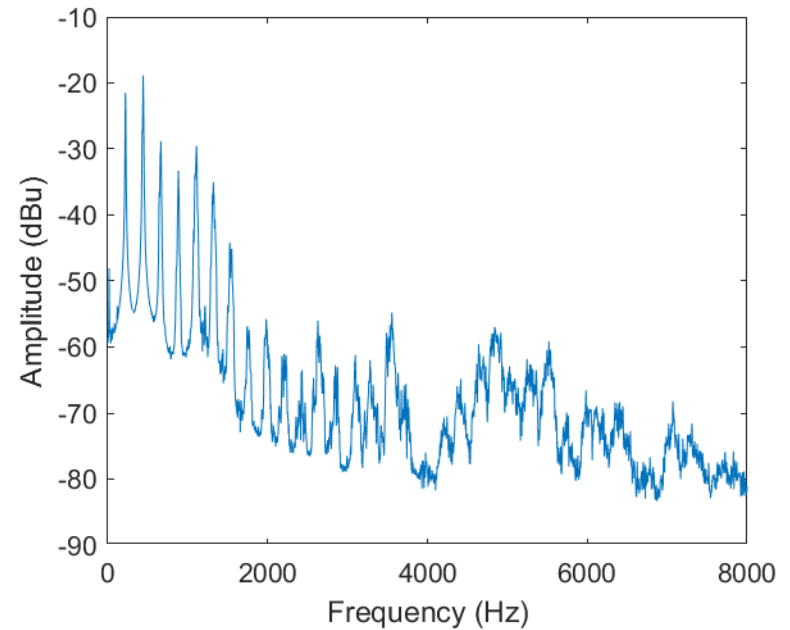
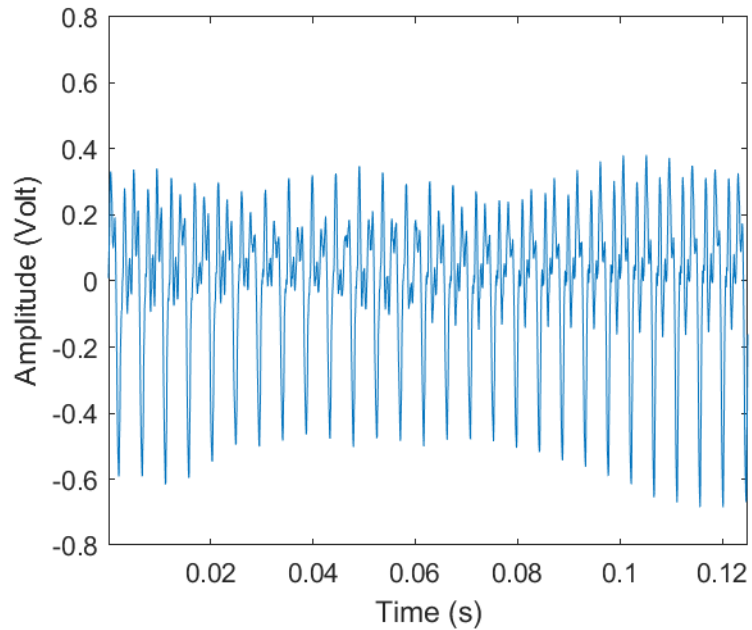


Σχήμα 1. Τυπικά φάσματα [8]

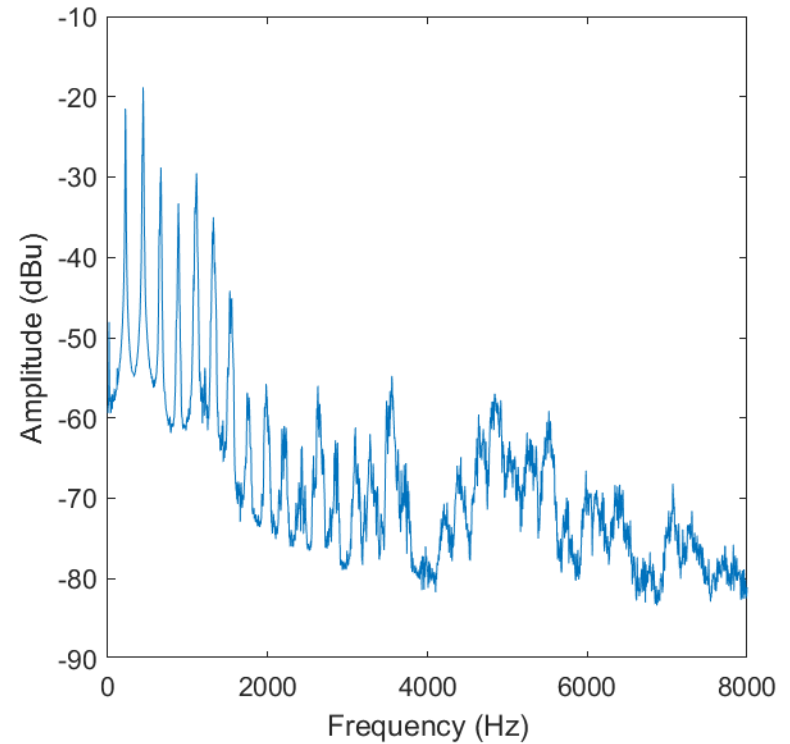
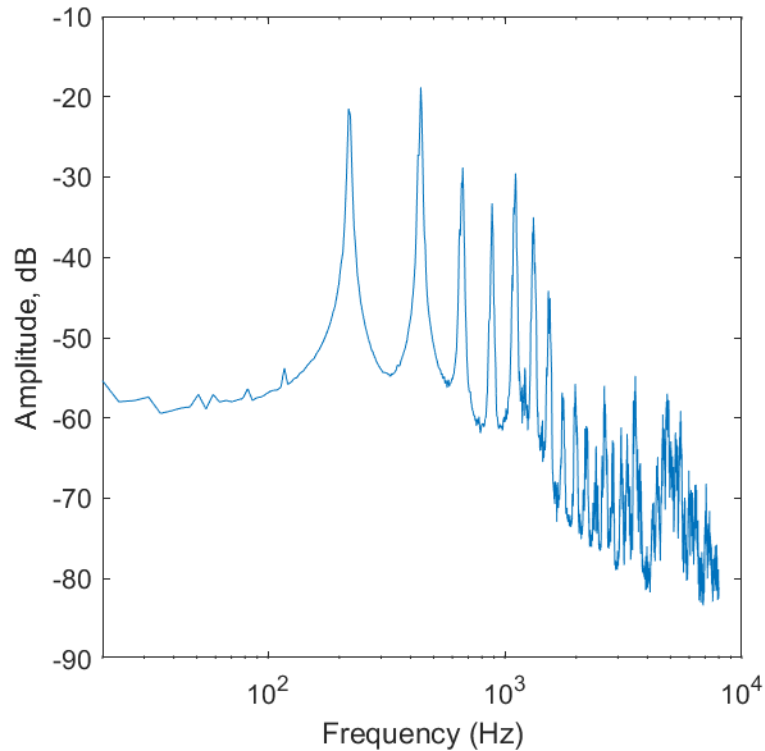
Διαγράμματα πλάτους-συχνότητας



Διαγράμματα πλάτους-συχνότητας



Λογαριθμικός και γραμμικός άξονας συχνοτήτων



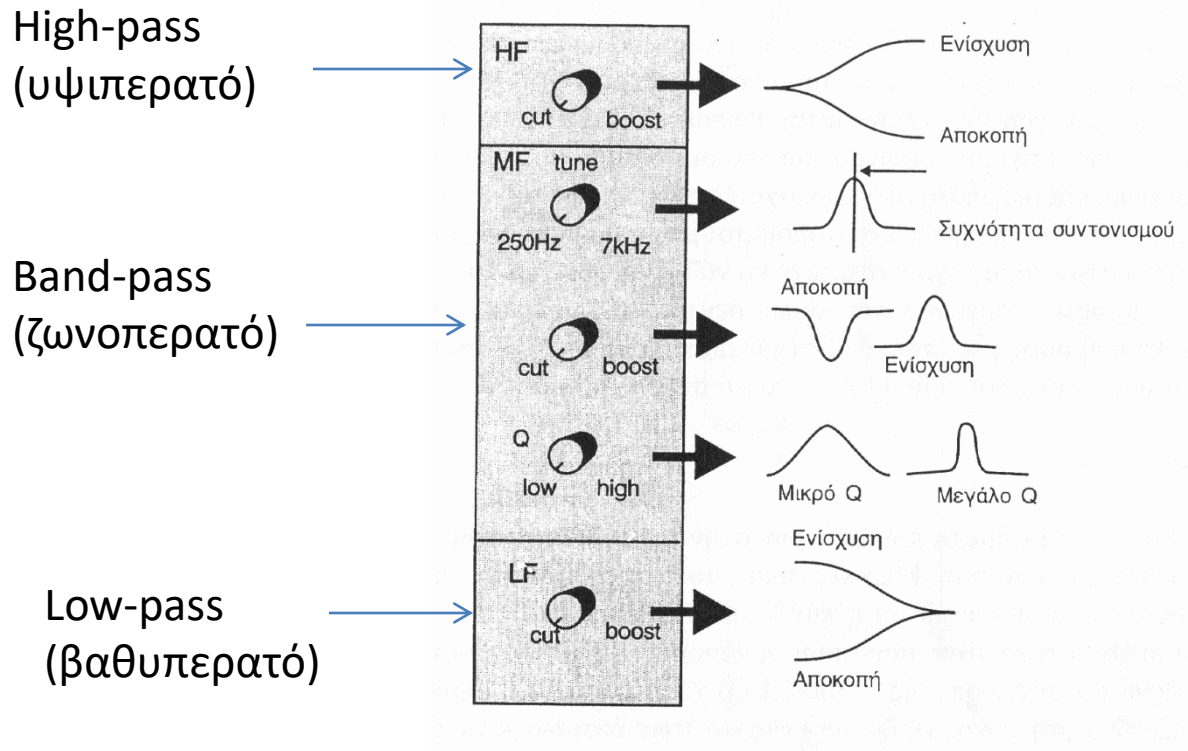
Διαγράμματα πλάτους συχνότητας

- Ακουστικό περιεχόμενο προγράμματος
- Συχνοτική απόκριση ηχητικού συστήματος

$$H(\omega) = 20 \log \frac{V_{\text{out}}(\omega)}{V_{\text{in}}(\omega)} \quad (\text{σε dB})$$

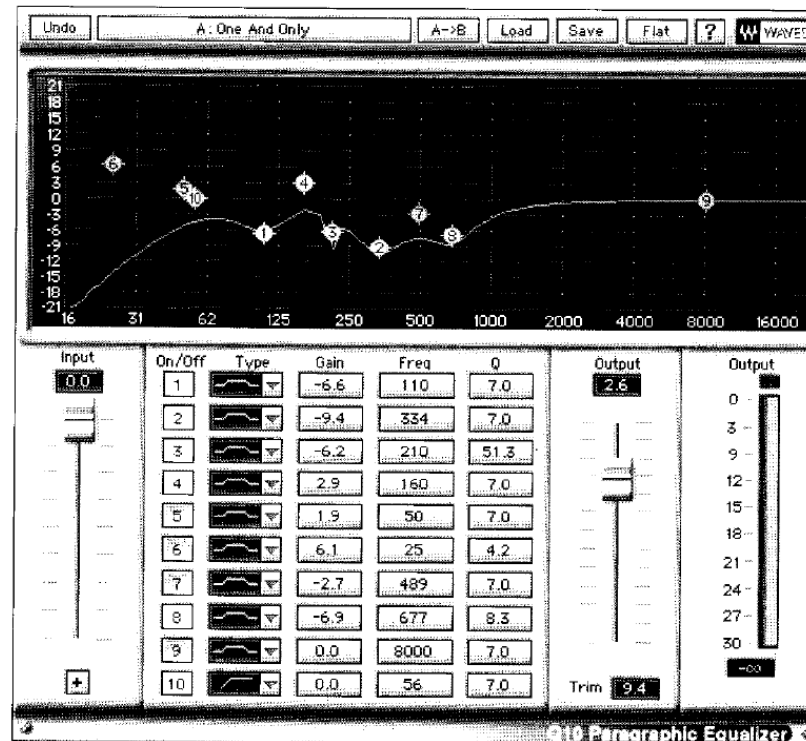
$$H(\omega) = \frac{V_{\text{out}}(\omega)}{V_{\text{in}}(\omega)} \quad (\text{γραμμικά})$$

Παραμετρικό equalizer



Σχήμα 1. Τυπική μορφή ενός equalizer όπως εμφανίζεται στα κανάλια εισόδου μίας κονσόλας

Ψηφιακό παραμετρικό equalizer



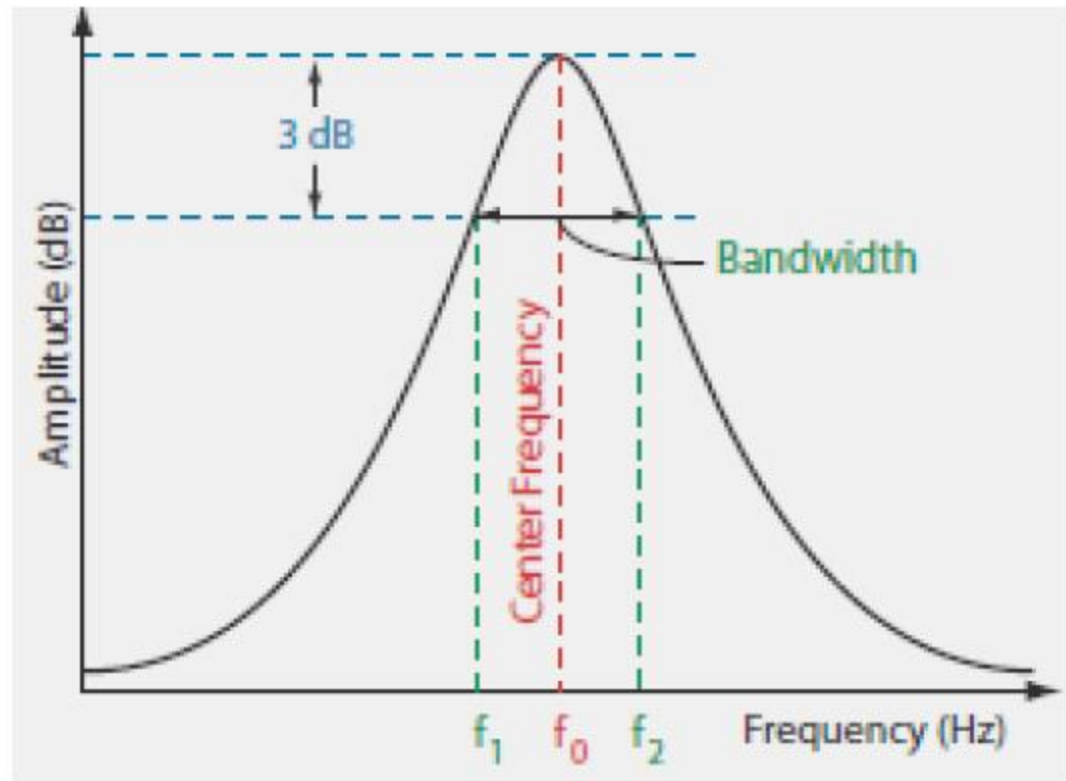
Σχήμα 7. Παραμετρικό ψηφιακό equalizer 10 περιοχών σε μορφή λογισμικού της σειράς Diamond plugins της εταιρείας Waves.

Χαρακτηριστικά ζωνοπερατού φίλτρου

Συχνοτικό κέντρο: f_0

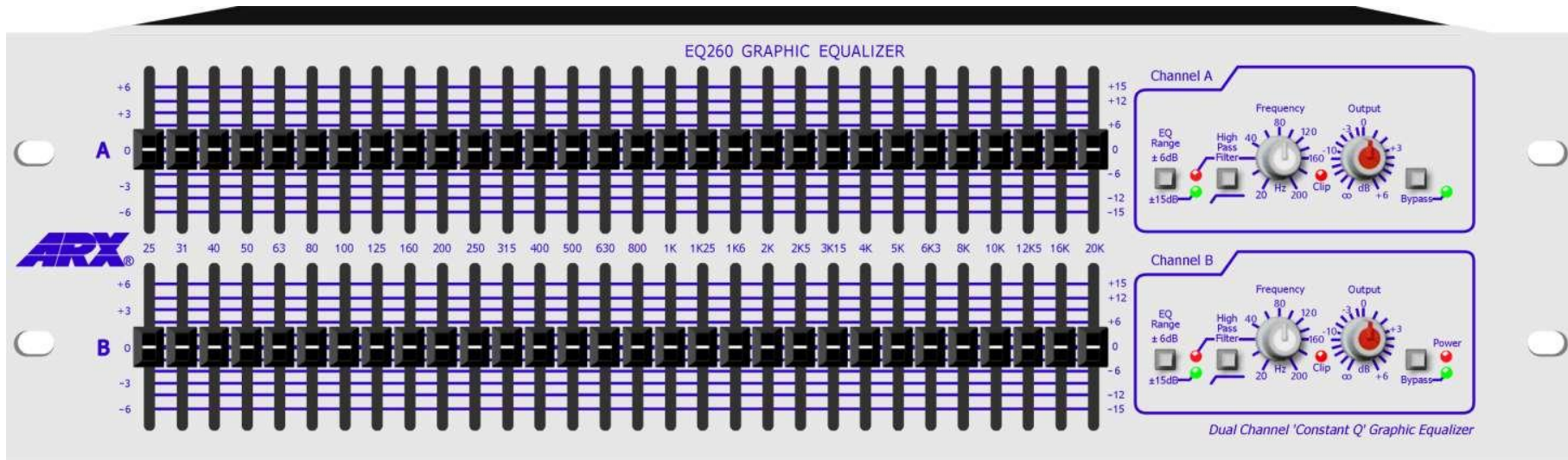
Εύρος ζώνης
συχνοτήτων: Q

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$



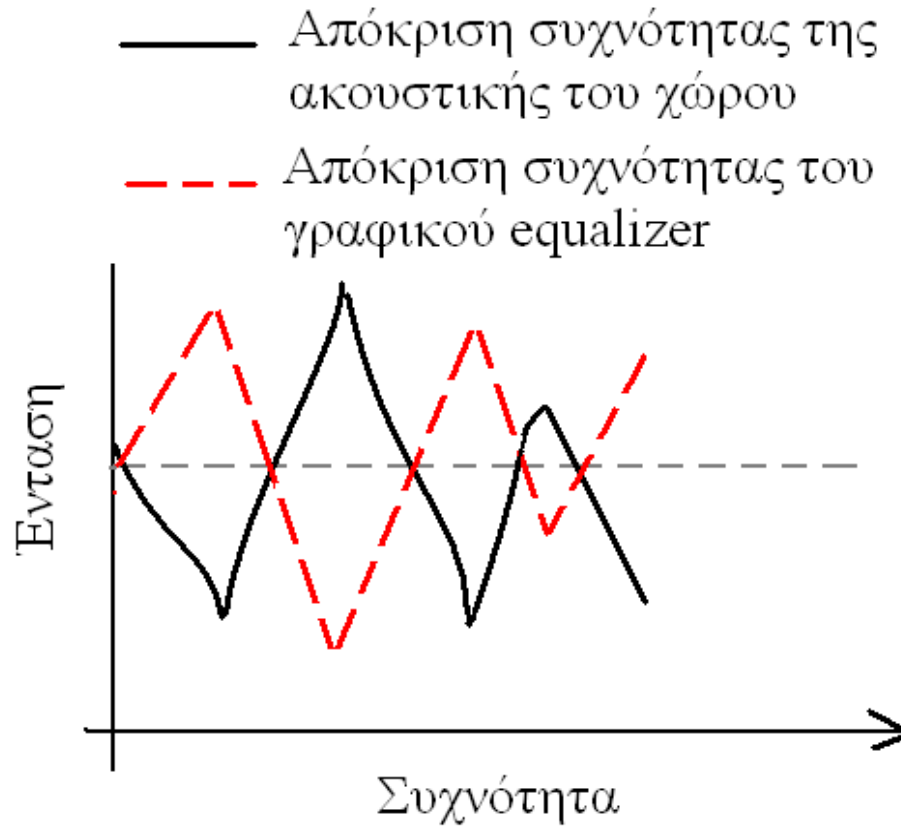
Σχήμα 1: Οι παράμετροι ενός *bandpass* φίλτρου.

Γραφικό equalizer



Σχήμα 2. Τυπική πρόσοψη γραφικού equalizer

Γραφικό equalizer



Σχήμα 2.4: Ισοστάθμιση με χρήση γραφικού equalizer

Βαθυπερατά και υψιπερατά φίλτρα

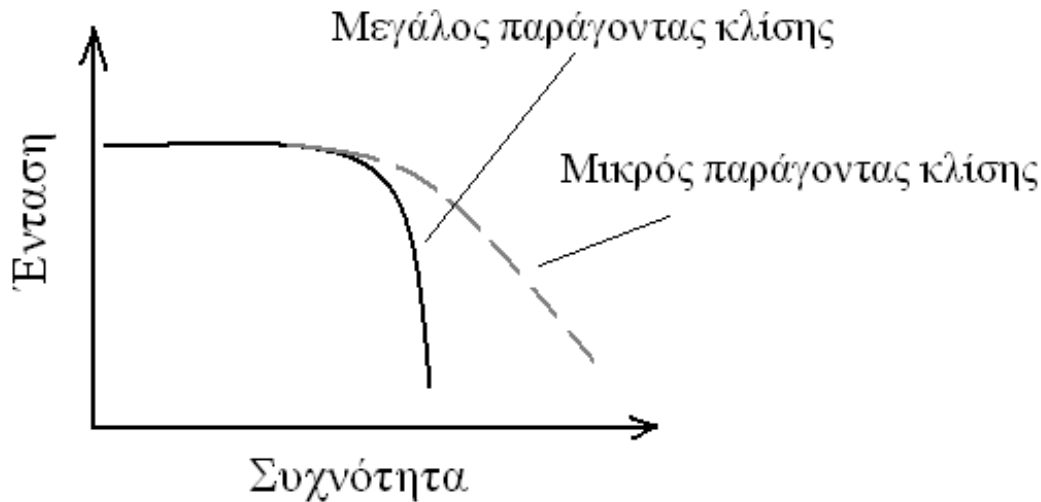
Παράγοντας κλίσης = ρυθμός αποκοπής

Μετριέται σε dB ανά
οκτάβα:

Τυπικές τιμές:

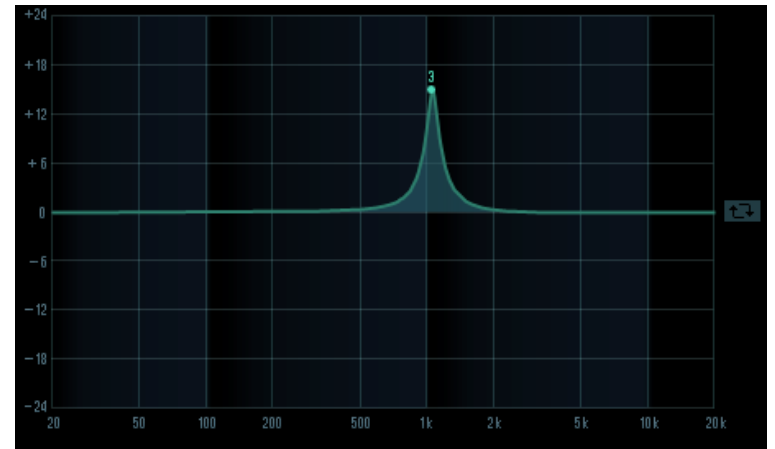
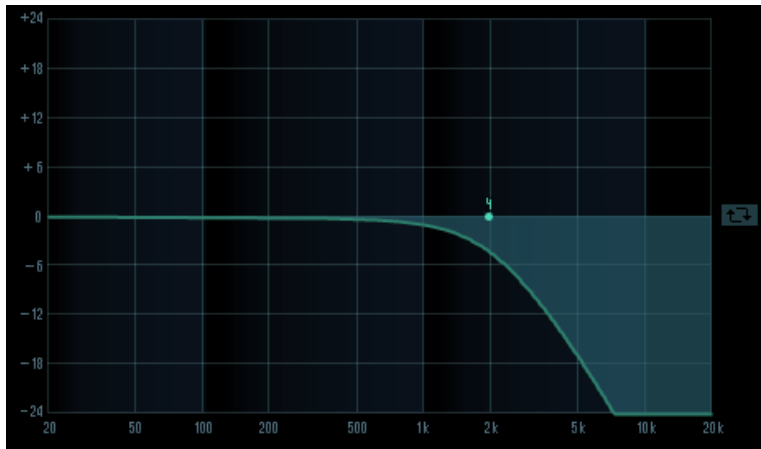
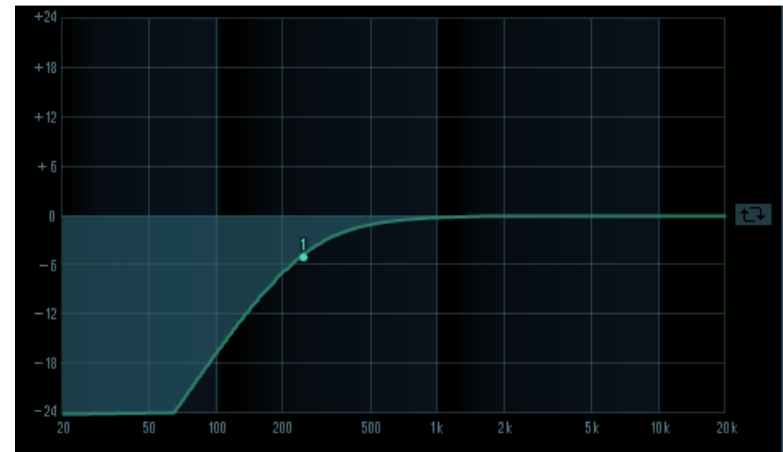
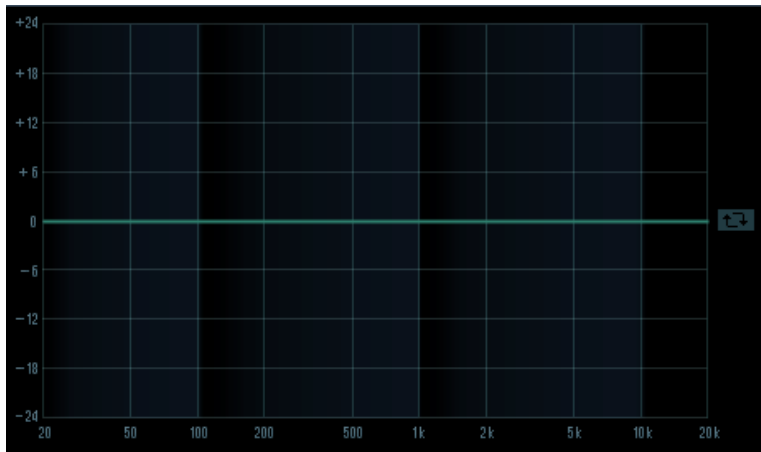
+6 dB/oct, +12 dB/oct,

-6 dB/oct, -12 dB/oct



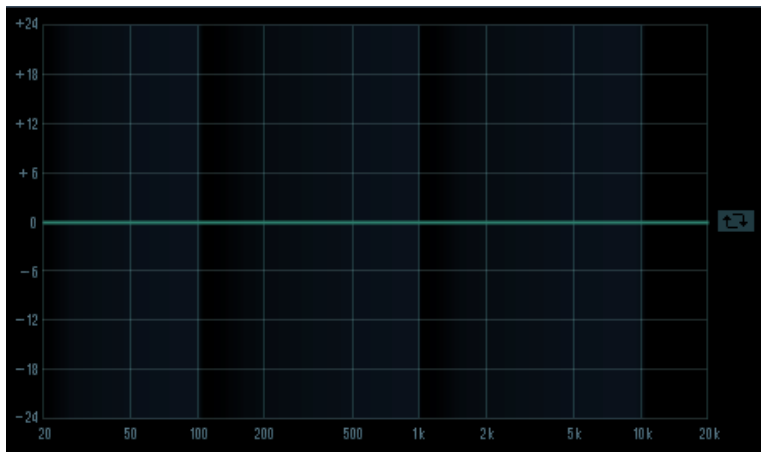
Σχήμα 8. Ορισμός του παράγοντα κλίσης σε ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων.

Παραμετρικό equalizer σε DAW

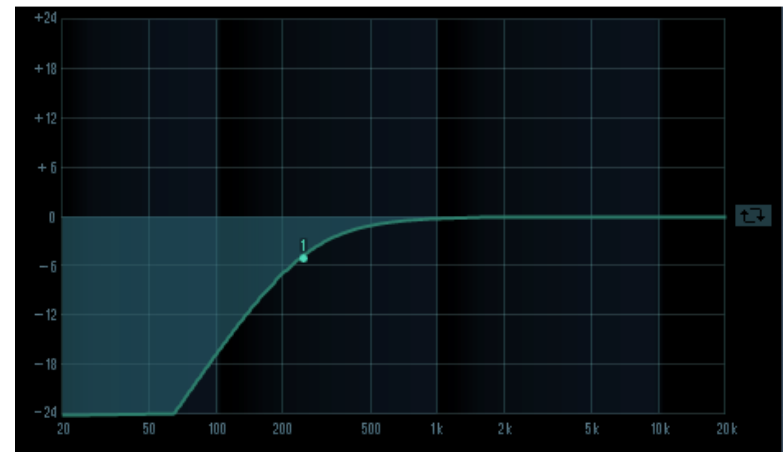


Παραμετρικό equalizer σε DAW

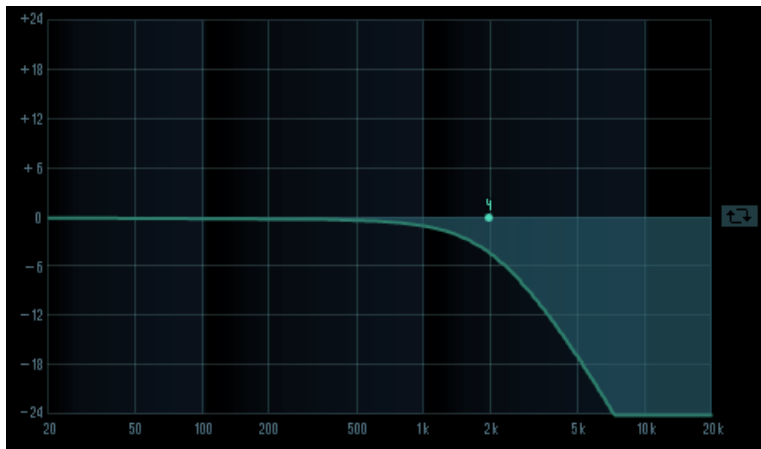
Επίπεδη απόκριση συχνότητας (flat)



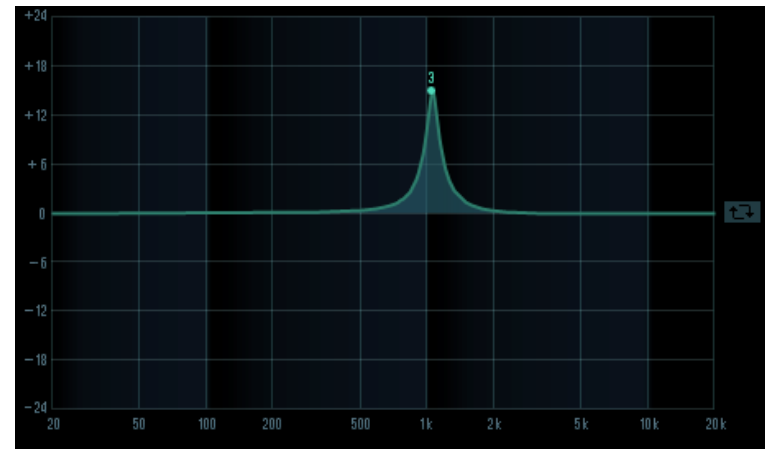
Υψιπερατό (high-pass)



βαθυπερατό (low-pass)



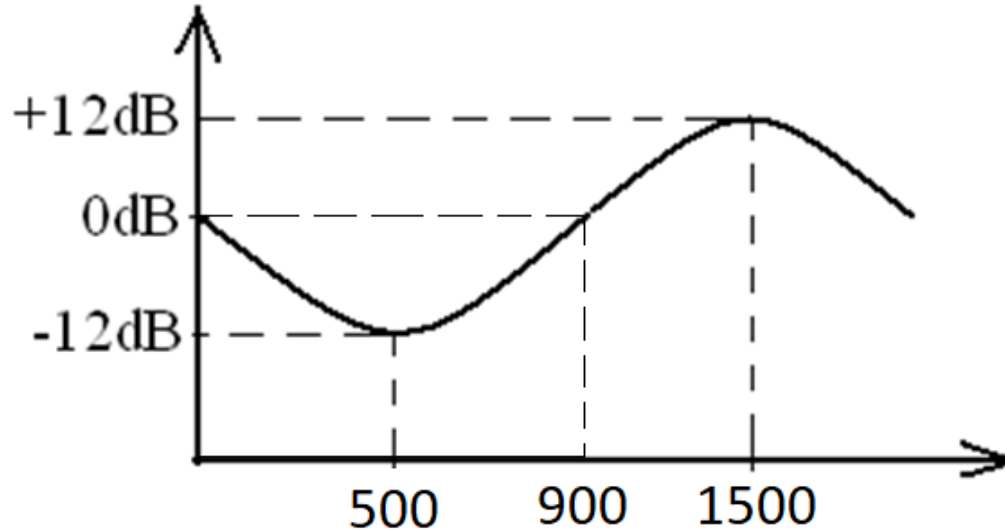
Peak filter



Ηχητικό αποτέλεσμα



Παράδειγμα



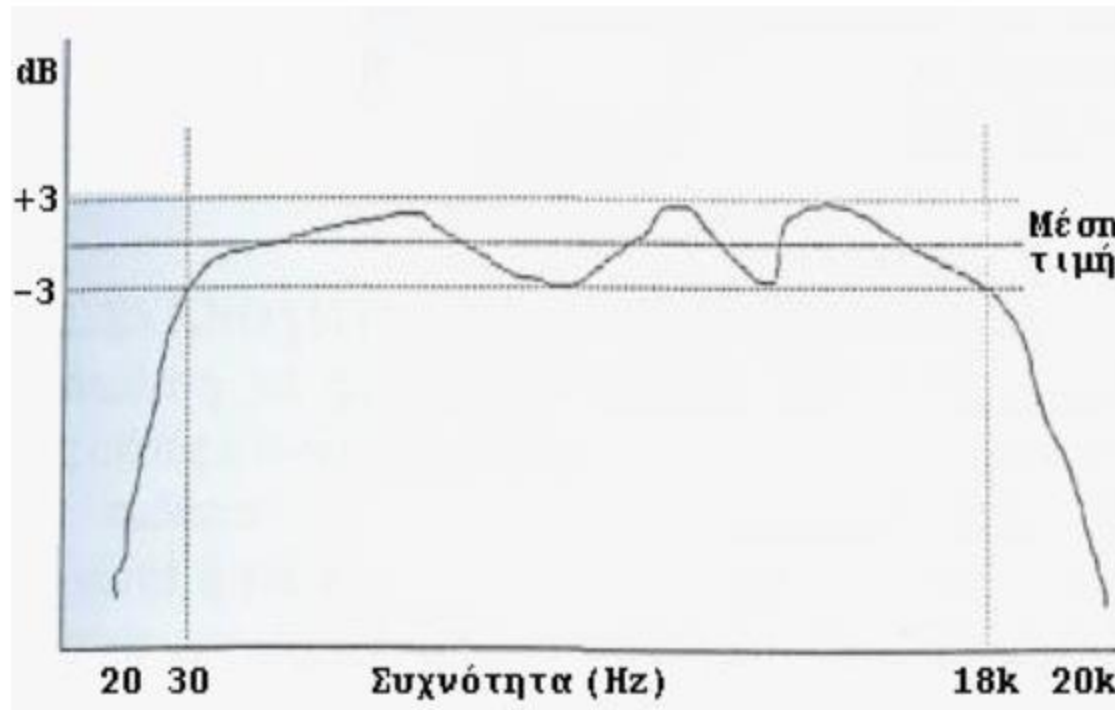
Παράδειγμα: Ένα ημιτονικό σήμα συχνότητας 500 Hz και στάθμης -10 dBu διέρχεται μέσα από ένα equalizer του οποίου η απόκριση συχνότητας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Να βρεθεί η στάθμη του σήματος στην έξοδο του equalizer. Ποια είναι η αντίστοιχη στάθμη εξόδου για ημιτονικά σήματα στα 1500 Hz και 900 Hz?

Είναι τα equalizer γραμμικά ηχητικά
συστήματα?

Είναι τα equalizer γραμμικά ηχητικά συστήματα?

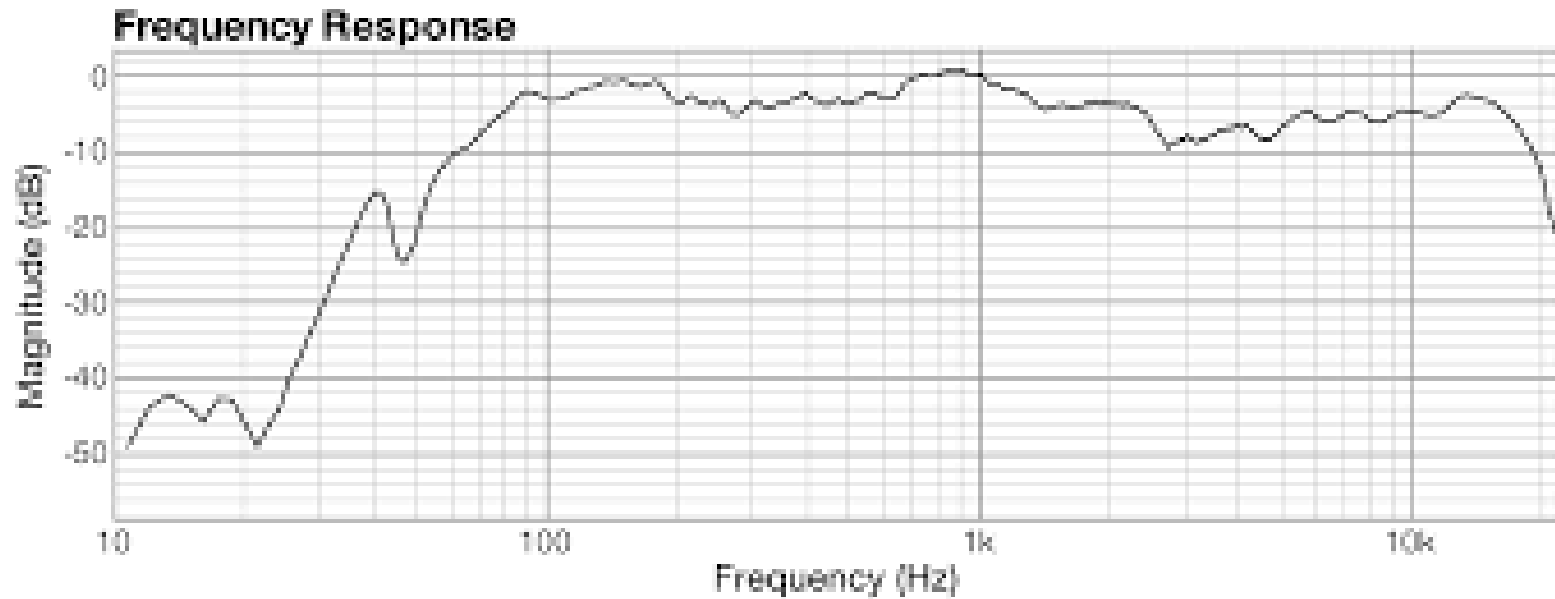
- Ναι είναι
- Μην μπερδεύουμε τον όρο «γραμμικό» με τον όρο «επίπεδη απόκριση συχνότητας»

Συχνοτική απόκριση συσκευής

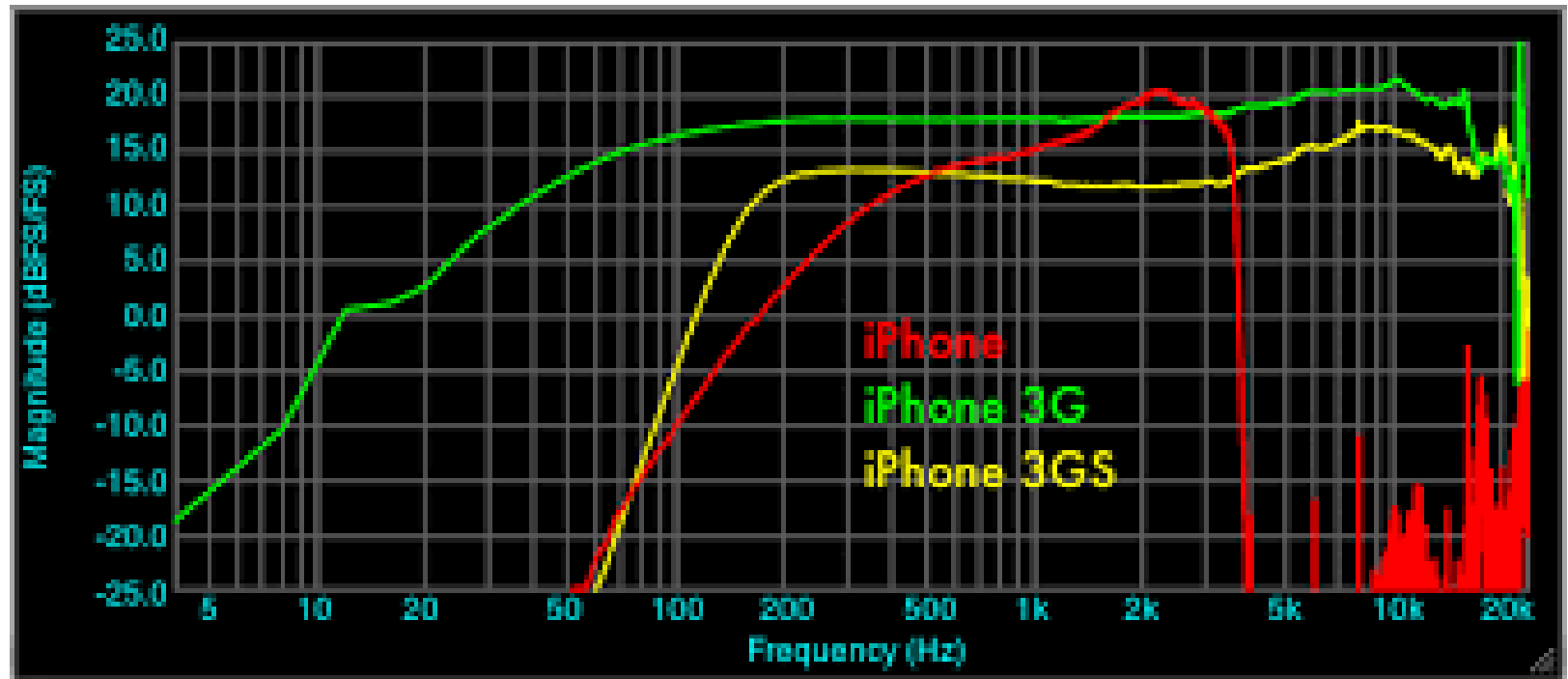


Σχήμα 19: Διάγραμμα συχνοτικής απόκρισης συσκευής 30 Hz to 18 kHz, ± 3 dB.



Συχνοτική απόκριση συσκευής



Συχνοτική απόκριση μικροφώνου συσκευής



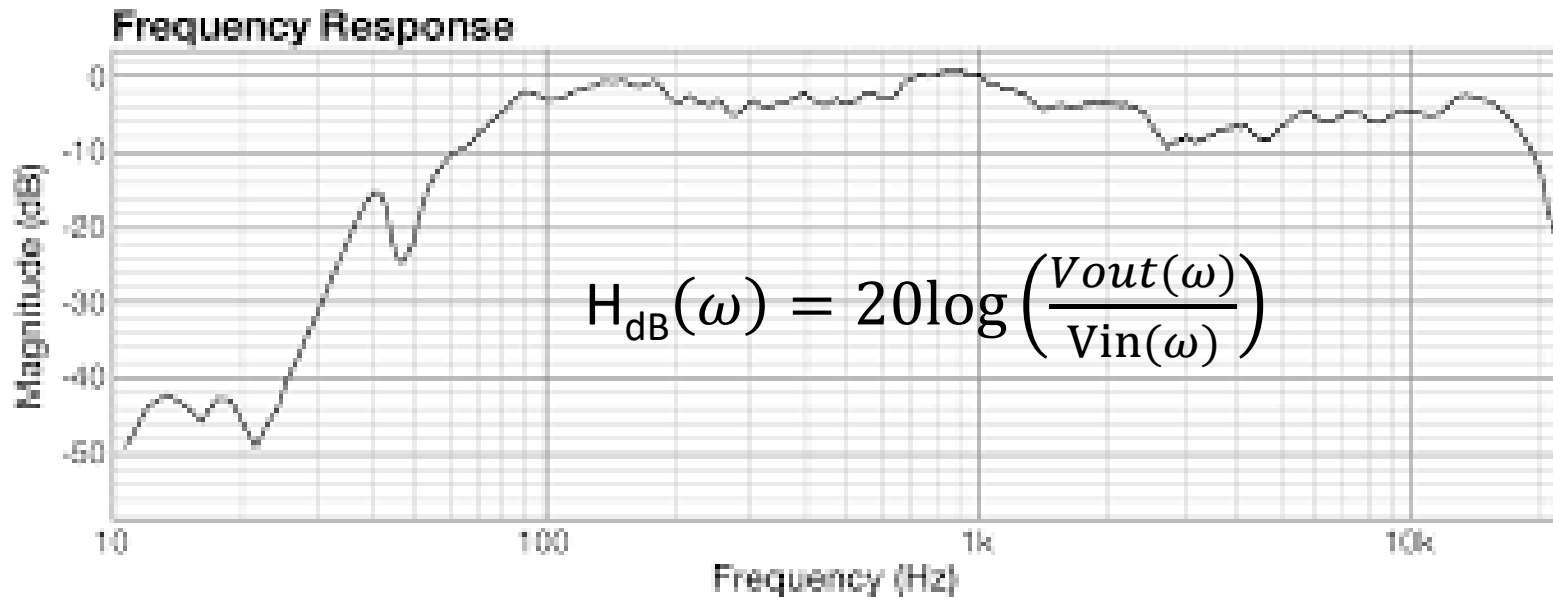
Λευκός και ροζ θόρυβος

- Λευκός θόρυβος: ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας κατά τη συχνότητα 
- Ροζ θόρυβος: -3dB/octave 

Μέτρηση συχνοτικής απόκρισης συσκευής

- 1) Διέγερση με κάποιο ηλεκτρικό σήμα ή ήχο που έχει όλες τις συχνότητες (πχ λευκός θόρυβος ή ροζ θόρυβος) και ανάλυση της εξόδου του συστήματος σε φασματικό αναλυτή
- 2) Διέγερση με ηλεκτρικά σήματα ή ήχους στενού εύρους συχνοτήτων και ανάλυση της εξόδου του συστήματος σε παλμογράφο (μετρητή πλάτους ή RMS)
- 3) Χρήση τεχνικών μέτρησης της κρουστικής απόκρισης

Συχνοτική απόκριση συσκευής



- Η μέτρηση συνήθως γίνεται με γραμμικά μεγέθη (Volt) αλλά το διάγραμμα είναι πάντα σε dB
- Ο άξονας συχνοτήτων μπορεί να είναι είτε σε γραμμική είτε σε λογαριθμική κλίμακα.

Το τέλειο ηχητικό σύστημα

- Θα έχει επίπεδη απόκριση συχνότητας στο συχνοτικό εύρος από 20 Hz έως 20 kHz.

Πως πάμε από την ιδέα στο τελικό προϊόν

- Σχεδιασμός ηλεκτροκουστικού συστήματος στο χαρτί και στον υπολογιστή
- Υπολογισμός της συχνοτικής απόκρισης μέσα από το φυσικομαθηματικό μοντέλο!
- Κατασκευή πρωτότυπου και μέτρηση
- Επανάληψη της διαδικασίας

Άσκηση 2.1

Έστω ένα ηχητικό σύστημα του οποίου η συχνотική απόκριση δίνεται από τον τύπο

- $$H(\omega) = \frac{\alpha^2}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 \omega^2}}$$

- 1) Σχολιάστε το είδος της συχνотικής απόκρισης
- 2) Προσδιορίστε το ρυθμό αποκοπής σε dB/oct

Παράγοντας κλίσης

Εξάρτηση V_{out} από το ω	Εξάρτηση W_{out} από το ω	Παράγοντας κλίσης
$\frac{V_{out}(\omega)}{V_{in}(\omega)} \propto \omega$	$W_{out} \propto \omega^2$	+6dB/octave
$\frac{V_{out}(\omega)}{V_{in}(\omega)} \propto \omega^2$	$W_{out} \propto \omega^4$	+12dB/octave
$\frac{V_{out}(\omega)}{V_{in}(\omega)} \propto \frac{1}{\omega}$	$W_{out} \propto \frac{1}{\omega^2}$	-6dB/octave
$\frac{V_{out}(\omega)}{V_{in}(\omega)} \propto \frac{1}{\omega^2}$	$W_{out} \propto \frac{1}{\omega^4}$	-12dB/octave

Άσκηση 2.2

Έστω ένα ηχητικό σύστημα του οποίου η συχνотική απόκριση δίνεται από τον τύπο

- $$H(\omega) = \frac{\beta\omega}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2\omega^2}}$$

- 1) Σχολιάστε το είδος της συχνотικής απόκρισης
- 2) Προσδιορίστε το ρυθμό αποκοπής σε dB/oct