

# Τεχνολογία Ήχου

## Διάλεξη 2: “Ακουστικά Συστήματα”

Φλώρος Ανδρέας  
Επίκουρος Καθηγητής

### Γενικευμένη θεώρηση ηχητικών συστημάτων

- Κάθε ηχητικό σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως διαδοχή επιμέρους
  - Ακουστικών υποσυστημάτων
  - Ηλεκτρικών υποσυστημάτων
  - Ηλεκτροακουστικών υποσυστημάτων



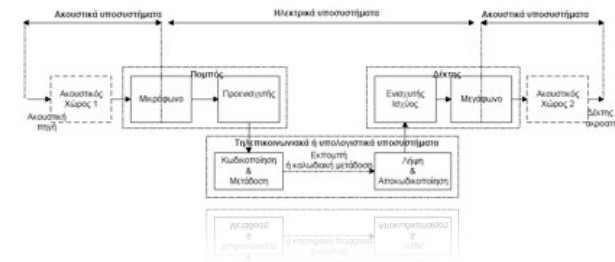
### Γενικευμένη θεώρηση ηχητικών συστημάτων (2)

- Η παραπάνω θεώρηση επιτρέπει την μελέτη ακουστικών συστημάτων
  - Εννιαία προσέγγιση με μοντέλα συστημάτων
- Κάθε υποσύστημα μπορεί να θεωρηθεί ως «φίλτρο»
  - Γραμμική λειτουργία επιθυμητή
  - Πιθανή μη γραμμική λειτουργία
  - Π.χ. Ψαλιδισμός κατά την ηχογράφηση
  - Έλεγχος μη γραμμικής λειτουργίας (εφόσον είναι εφικτός)



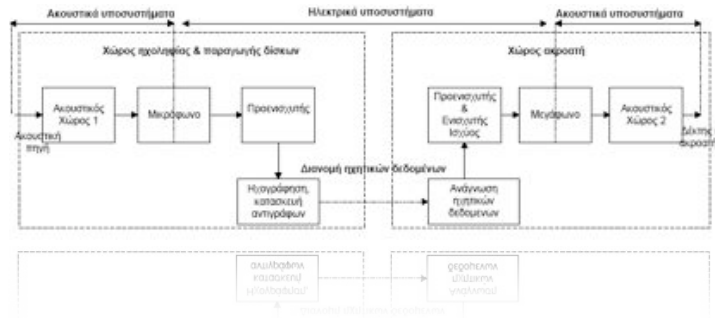
### Γενικευμένη θεώρηση ηχητικών συστημάτων (3)

- Παράδειγμα 1: εφαρμογή σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα
  - πηγή/δέκτης δε βρίσκονται στον ίδιο χώρο
  - Μη ύπαρξη ακουστικής ανάδρασης



## Γενικευμένη θεώρηση ηχητικών συστημάτων (3)

- Παράδειγμα 2: συστήματα ηχογράφησης αναπαραγωγής ήχου



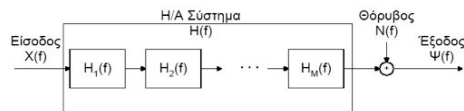
## Τύποι παραμορφώσεων σε ηχητικά συστήματα

- Η προσθήκη παραμορφώσεων δεν είναι επιθυμητή
- Το ηχητικό σήμα που φτάνει στο δέκτη πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο όμοιο με το σήμα της πηγής
  - Δυστυχώς όμως, τίποτα δεν είναι τέλειο...
- Ζητούμενο η προσθήκη των ελάχιστων δυνατών παραμορφώσεων
- Τεχνικές προδιαγραφές (ISO, IEC κ.λ.π) καθορίζουν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια παραμορφώσεων
  - Π.χ. Απόκριση συχνότητας
  - Ολική αρμονική παραμόρφωση (THD)
  - Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR)
- Ευθύνη του μηχανικού-σχεδιαστή να τις εφαρμόσει

## Αναπαράσταση συστημάτων στη συχνότητα

- Σειριακή διαδοχή επιμέρους υποσυστημάτων

- Μιγαδική συνάρτηση μεταφοράς  $H(f)$



- Γενικά ισχύει

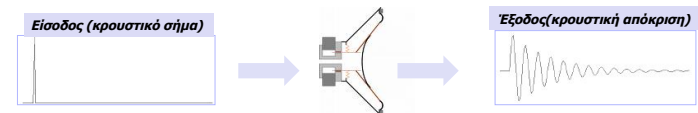
$$\Psi(f) = H(f) \cdot X(f) + N(f) = [H_1(f) \cdot H_2(f) \dots H_M(f)] + N(f)$$

- $X(f)$ ,  $\Psi(f)$  οι μιγαδικές συναρτήσεις φασμάτων της εισόδου και εξόδου αντίστοιχα

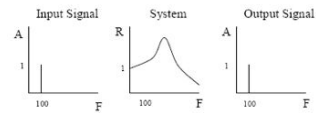
## Βασικές έννοιες: κρουστική απόκριση συστήματος

- Η απόκριση  $h(t)$  ενός συστήματος σε κρουστική είσοδο  $\delta(t)$

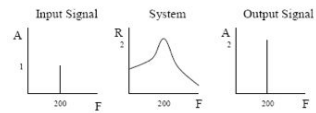
- Προσδιορίζει / ταυτοποιεί το σύστημα



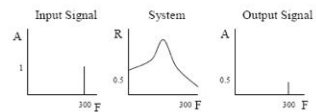
## Βασικές έννοιες: απόκριση συχνότητας



Παράδειγμα 1

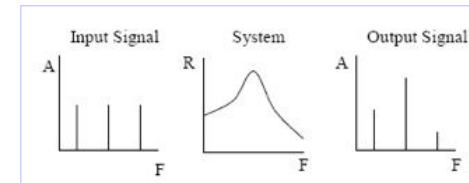


Παράδειγμα 2

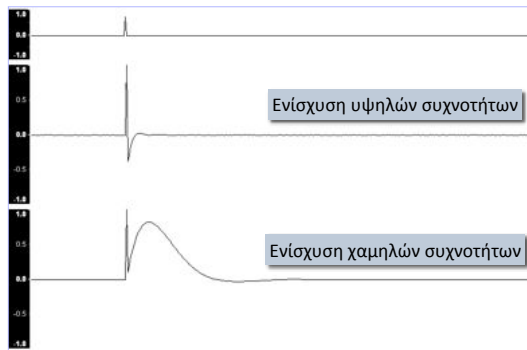


Παράδειγμα 3

## Βασικές έννοιες: απόκριση συχνότητας (2)



## Κρουστική απόκριση και απόκριση συχνότητας

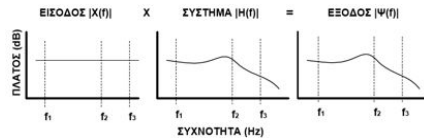


## Παραμορφώσεις ηχητικών συστημάτων

- Γραμμικές παραμορφώσεις μόνο
  - $N(f)=0$
- Προσθετικός θόρυβος μόνο
  - $H(f)=1$
- Συνδιασμένες παραμορφώσεις
  - Συνδιασμός γραμμικών παραμορφώσεων και προσθετικού θορύβου
- Μη γραμμικές παραμορφώσεις
  - Έξοδος που εξαρτάται έντονα από την είσοδο
  - Π.χ. Ψαλιδισμός σήματος

## Γραμμικές παραμορφώσεις

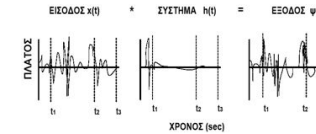
- Εκτίμηση της συνάρτησης μεταφοράς  $H(f)$ 
  - Εφαρμογή λευκού θορύβου ως είσοδο σε κάποιο σύστημα
    - ▶  $|X(f)|=1$
- Η έξοδος είναι η απόκριση συχνότητας του συστήματος



- Ιδανικό σύστημα:  $|H(f)| = 1$

## Γραμμικές παραμορφώσεις (2)

- Παραμορφώσεις λόγω φάσης
  - Άθροισμα φάσης του σήματος εισόδου με την συνολική φασική απόκριση του συστήματος
  - Δύσκολα γίνονται αντιληπτές
  - Προπορεία ή καθυστέρηση σε συνάρτηση της συχνότητας
- Γραμμικές παραμορφώσεις στο πεδίο του χρόνου



## Παραμορφώσεις προσθετικού θορύβου

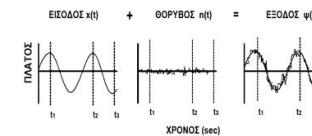
- Προσθετικός θόρυβος: «φύσημα» κατά την αναπαραγωγή
- Μέτρηση λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR - dB)

$$SNR = 20 \log \left( \frac{y(t)}{n(t)} \right)$$

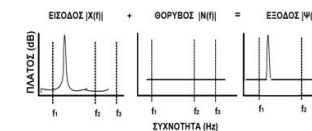
- Πηγές προσθετικού θορύβου
  - Ηλεκτρονικές διατάξεις
  - Ακουστικό χώρος
  - Μηχανικά τμήματα μετατροπών



## Παραμορφώσεις προσθετικού θορύβου (2)

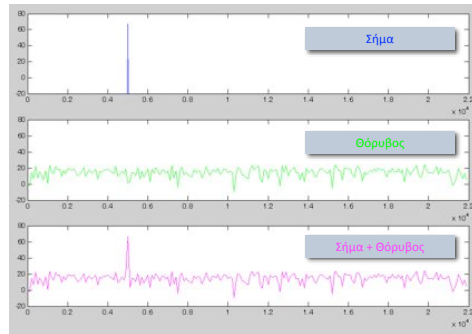


Πεδίο χρόνου



Πεδίο συχνότητας

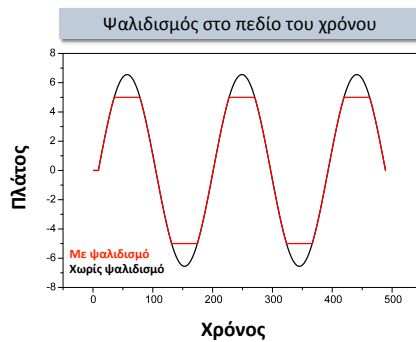
### Παραμορφώσεις προσθετικού θορύβου (3)



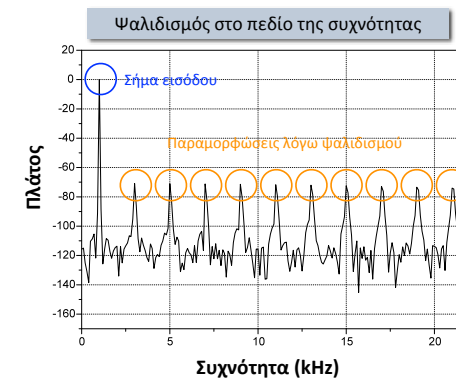
### Μή γραμμικές παραμορφώσεις ηχητικών συστημάτων

- Η έξοδος είναι διαφορετική για κάθε σήμα εισόδου
  - Δύσκολη αναλυτική εκτίμησή τους
- Για την αποφυγή τους, τα υποσυστήματα πρέπει να λειτουργούν στη γραμμική περιοχή λειτουργίας τους
  - ... ή στα όρια των προδιαγραφών τους
- Σε ηχητικά συστήματα εμφανίζονται σε περιορισμένη κλίμακα
  - Π.χ. Ψαλιδισμός
- Μέτρηση συνήθως με χρήση ημιτονικών σημάτων
  - (%) Ολική αρμονική παραμόρφωση (%THD)

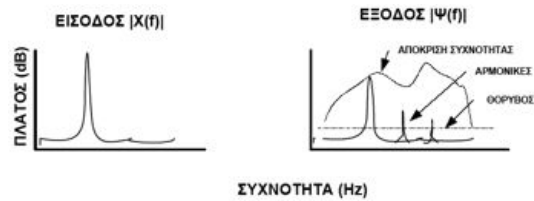
### Μή-γραμμικές παραμορφώσεις



### Μή-γραμμικές παραμορφώσεις (2)



## Συνδυασμένες παραμορφώσεις



## Μέτρηση παραμορφώσεων

- Ολική αρμονική παραμόρφωση

- Total Harmonic Distortion (THD)
- Ο λόγος του αθροίσματος του πλάτους των αρμονικών προς το πλάτος της θεμελιώδους

$$\text{THD} = \frac{\sum \text{harmonic powers}}{\text{fundamental frequency power}} = \frac{P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n}{P_1}$$

- Μετρά την μη γραμμικότητα των συστημάτων όταν αυτά διεγείρονται από ημιτονικές κυματομορφές
- Μέτρηση σε dB ή (%)

## Μέτρηση παραμορφώσεων (2)

- Ολική αρμονική παραμόρφωση + Θόρυβος

- Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N)
- Ο λόγος του αθροίσματος του πλάτους των αρμονικών και του θορύβου προς το πλάτος της θεμελιώδους

$$\text{THD+N} = \frac{\sum \text{harmonic powers} + \text{noise power}}{\text{total output power}}$$

- Μέτρηση σε dB ή (%)

Ο άνθρωπος ως ακουστικό υποσύστημα





## Ακουστική αντίληψη

- Πώς ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον ήχο;
- Υπάρχει υποκειμενικότητα στην αντίληψη του ήχου;
- Όλοι οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε τα ίδια παρουσία ενός συγκεκριμένου ηχητικού ερεθίσματος;
  - Η μουσική σας μπορεί να είναι θόρυβος για κάποιους άλλους!
  - Ποιά η απόκριση του ανθρώπινου συστήματος ακοής;
- Τα υποκειμενικά μεγέθη της ακουστικής είναι εμπειρικά
  - Προκύπτουν από την στατιστική επεξεργασία μεγάλου αριθμού αντιπροσωπευτικών ατόμων



## Από το μάθημα της ακουστικής...

