

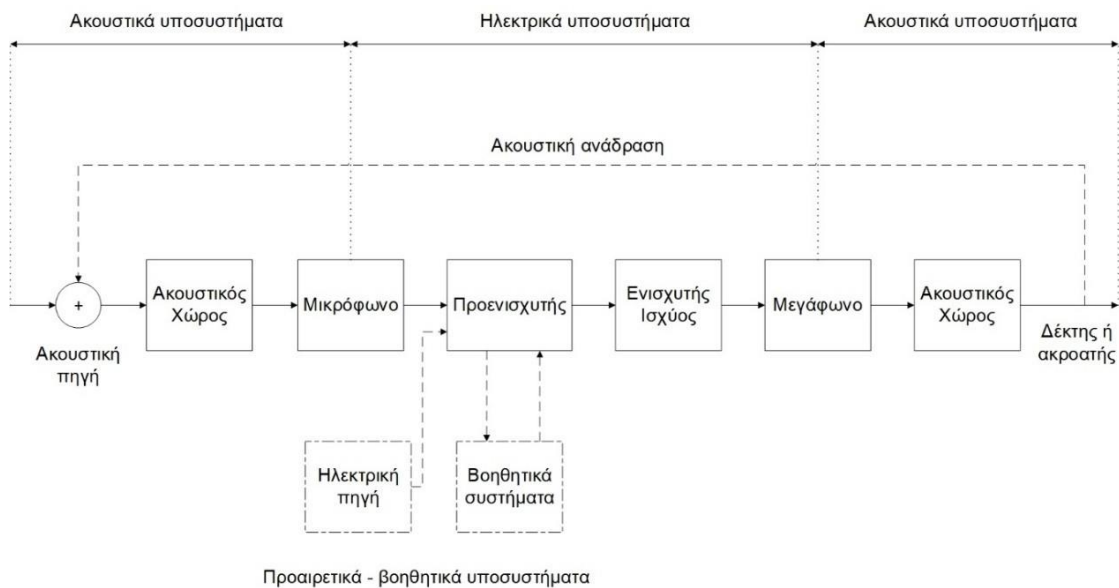
ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ Ι

ΑΣΚΗΣΗ 1

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε ηλεκτροακουστική συσκευή ή εγκατάσταση θα πρέπει να αναπαράγει στην έξοδό της με τη μεγαλύτερη πιστότητα τα ηχητικά σήματα εισόδου. Είναι όμως γνωστό ότι στην πράξη, οι ηλεκτροακουστικές συσκευές μόνο σε κάποιο βαθμό ικανοποιούν αυτή τη συνθήκη. Επίσης, είναι γνωστό ότι στην πολύπλοκη αλυσίδα της ηλεκτροακουστικής ηχητικής αναπαραγωγής (π.χ. **Σχήμα 1**) οι συσκευές ή και οι χώροι ακρόασης/ηχογράφησης θα εισάγουν διάφορες επιμέρους παραμορφώσεις που συνολικά θα συνδυάζονται στη θέση του δέκτη ή του ακροατή. Οι συνηθέστερες παραμορφώσεις που θα αντιμετωπίσει ο ακροατής ή και ο μηχανικός που θα μετρήσει αυτό το σύστημα είναι οι γραμμικές φασματικές παραμορφώσεις, όπου συστηματικά μερικές συχνотικές περιοχές του ηχητικού σήματος θα ενισχυθούν ή θα εξασθενήσουν.



Σχήμα 1: Συνολική διάταξη ηλεκτροακουστικού συστήματος.

Στο πρώτο μέρος της άσκησης αυτής θα ασχοληθούμε με την ανάλυση και τη μέτρηση αυτής της κατηγορίας της γραμμικής παραμόρφωσης φάσματος (π.χ. όπως παράγονται από κάποιο ηλεκτρονικό κύκλωμα, κάποιο ηχείο, ή και από συνδυασμό τους).

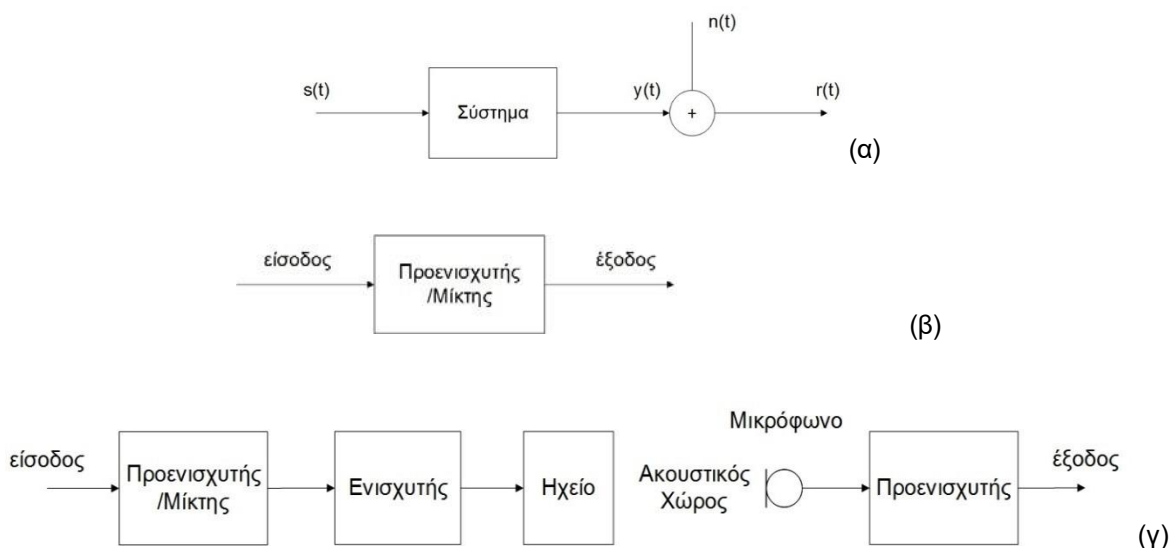
Εκτός από τη γραμμική παραμόρφωση φάσματος, ο μηχανικός αντιμετωπίζει μία ακόμη συνηθισμένη κατηγορία παραμόρφωσης σε ηλεκτροακουστικές συσκευές και διατάξεις, αυτή της προσθετικής

παρεμβολής θορύβου (π.χ. θόρυβος ταινίας σε μαγνητόφωνο, ηλεκτρονικός θόρυβος σε κάποιο κύκλωμα, ακουστικός θόρυβος που καταγράφεται από κάποιο μικρόφωνο, κλπ.). Η προσθετική παρεμβολή θορύβου θα εξετασθεί, με τη μέτρηση του Λόγου Σήματος προς Θόρυβο (ΛΣΘ) ή Signal to Noise Ratio (SNR) σε διάφορα ηλεκτροακουστικά συστήματα. Επιπλέον, κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, η αρχική υπόθεση ότι οι ηλεκτροακουστικές συσκευές και διατάξεις συμπεριφέρονται σαν Γραμμικά και Χρονικά Αμετάβλητα Συστήματα (ΓΧΑ), δεν ισχύει πλήρως. Για παράδειγμα, αν ένας ενισχυτής οδηγηθεί να παράγει υπερβολικές στάθμες ισχύος, τότε θα λειτουργήσει σαν ένα μερικώς γραμμικό σύστημα και σε κάποιο βαθμό (που θα πρέπει να μετρηθεί), σαν ένα μη-γραμμικό σύστημα εισάγοντας μετρήσιμες και ακουστές παραμορφώσεις. Ανάλογη συμπεριφορά θα παρουσιάσει και κάποιο μεγάφωνο-ηχείο ή μικρόφωνο, αν οδηγηθεί σε υπερβολικές στάθμες σήματος. Για τον σχετικό ορισμό της αρχής της Γραμμικότητας, θα ήταν χρήσιμο να ανατρέξετε και στο μάθημα Σήματα και Συστήματα. Σε αυτή την άσκηση, θα ασχοληθούμε με τη μη γραμμική συμπεριφορά και παραμόρφωση των μετρούμενων ηλεκτροακουστικών συστημάτων, μετρώντας την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση ή Total Harmonic Distortion (THD).

2. ΘΕΩΡΙΑ

2.1 Γενικές σχέσεις εισόδου - εξόδου

Για απλότητα, ας επικεντρώσουμε την ανάλυση μόνο σε ένα από τα διαφορετικά υποσυστήματα της αλυσίδας του Σχήματος 1. Θεωρούμε ότι για μια μεγάλη περιοχή τιμών πλάτους των σημάτων, το σύστημα αυτό συμπεριφέρεται σαν Γραμμικό και Χρονικά Αμετάβλητο (ΓΧΑ) σύστημα (βλ. μάθημα Σήματα και Συστήματα και Εισαγωγικές Έννοιες). Σε οποιοδήποτε τέτοιο γραμμικό σύστημα (όπως αυτά που θεωρούμε ότι είναι οι ηλεκτροακουστικές συσκευές), ισχύουν οι σχέσεις που φαίνονται και στο **Σχήμα 2 (α)** και δίνονται από τις γνωστές εξισώσεις:



Σχήμα 2: Γενική μορφή (α) ΓΧΑ συστήματος (β) ηλεκτρικού υποσυστήματος (γ) ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης.

$$r(t) = y(t) + n(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (1\alpha)$$

όπου t (s) είναι η μεταβλητή χρόνου, $h(t)$ είναι η κρουστική απόκριση του συστήματος και $n(t)$ τυχόν προσθετικός θόρυβος. Αντίστοιχα, στο πεδίο της συχνότητας έχουμε:

$$R(\omega) = Y(\omega) + N(\omega) = S(\omega)H(\omega) + N(\omega) \quad (1\beta)$$

όπου ω (rad/s) είναι η μεταβλητή της συχνότητας και όλες οι συναρτήσεις είναι μιγαδικές.

2.2 Γραμμικές φασματικές παραμορφώσεις

Απλοποιώντας τη σχέση (1α), στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει προσθετικός θόρυβος, δηλαδή όταν $n(t) = 0$, έχουμε:

$$r(t) = s(t) * h(t) \text{ και } R(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega) \quad (2)$$

Το δεύτερο μέλος της παραπάνω σχέσης μας δίνει τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος, περιγράφει δηλαδή τις γραμμικές φασματικές παραμορφώσεις με το μιγαδικό μέγεθος:

$$H(\omega) = \frac{R(\omega)}{S(\omega)} \quad (3\alpha)$$

Εκφράζοντας τα μεγέθη σαν μέτρο (πραγματικό μέρος) και φάση (φανταστικό μέρος), έχουμε:

$$|H(\omega)|e^{j\arg[H(\omega)]} = \frac{|R(\omega)|e^{j\arg[R(\omega)]}}{|S(\omega)|e^{j\arg[S(\omega)]}} \quad (3\beta)$$

Προφανώς, από την παραπάνω σχέση ισχύουν τα εξής:

$$|H(\omega)| = \frac{|R(\omega)|}{|S(\omega)|} \quad (3\gamma\gamma)$$

$$\arg[H(\omega)] = \arg[R(\omega)] - \arg[S(\omega)] \quad (3\delta\delta)$$

Συνηθέστερος τρόπος που καταγράφονται οι σχέσεις αυτές είναι τα γνωστά διαγράμματα Bode, όπου εμφανίζεται η συνάρτηση σε dB:

$$20 \cdot \log|H(\omega)| = 20 \cdot \log|R(\omega)| - 20 \cdot \log|S(\omega)| \quad (4)$$

2.3 Λόγος σήματος προς θόρυβο (ΛΣΘ ή SNR)

Απλοποιώντας τη σχέση (1α), για την περίπτωση που έχουμε μόνο προσθετική παραμόρφωση, χωρίς καθόλου γραμμικές παραμορφώσεις, δηλαδή όταν:

$$h(t) = \delta(t) \quad (5\alpha)$$

όπου $\delta(t)$ είναι η συνάρτηση Δέλτα (Dirac). Προκύπτει σε αυτή την περίπτωση πως:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (5\beta)$$

και

$$R(\omega) = S(\omega) + N(\omega) \quad (5\gamma)$$

Ο κλασσικός ορισμός της “ποσότητας” του θορύβου που παρεμβάλλεται, είναι αυτός του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), που ισούται με τον λόγο $r(t)/n(t)$, εκφρασμένο σε dB, δηλαδή:

$$SNR = 20 \log \frac{r(t)}{n(t)} \quad (5\delta)$$

όπου όλα τα σήματα εκφράζονται από τις rms τιμές τους.

2.4 Μη-γραμμικές ή αρμονικές φασματικές παραμορφώσεις

Αν υποθέσουμε ότι για είσοδο στο σύστημα χρησιμοποιούμε ένα σήμα $x(t)$ τότε στην έξοδο του συστήματος όσο αυτό λειτουργεί ως Γραμμικό Χρονικά Αμετάβλητο (ΓΧΑ) θα πρέπει να εμφανισθεί ένα σήμα: $y(t) = S\{x(t)\}$. Το σήμα αυτό θα πρέπει να ικανοποιεί τις συνθήκες της ομοιογένειας και της υπέρθεσης, δηλαδή αν η έξοδος (απόκριση) του συστήματος στις εισόδους $x_1(t)$ και $x_2(t)$ είναι αντίστοιχα $y_1(t) = S\{x_1(t)\}$ και $y_2(t) = S\{x_2(t)\}$ τότε η απόκριση του συστήματος για σήμα εισόδου $x(t) = a_1 \cdot x_1(t) + a_2 \cdot x_2(t)$ θα πρέπει να είναι $y(t) = a_1 \cdot y_1(t) + a_2 \cdot y_2(t)$.

Αν για παράδειγμα το σύστημα μετασχηματίζει το σήμα στην είσοδο σε σήμα στην έξοδο με βάση κάποια σχέση της μορφής $y(t) = S\{x(t)\} = x^2(t)$, τότε το σύστημα δεν θα είναι ΓΧΑ, αφού το σήμα στην έξοδο θα είναι:

$$\begin{aligned} y(t) = S\{x(t)\} &= [a_1 \cdot x_1(t) + a_2 \cdot x_2(t)]^2 = a_1^2 \cdot x_1^2(t) + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot x_1(t) \cdot x_2(t) + a_2^2 \cdot x_2^2(t) = \\ &= a_1^2 \cdot y_1^2(t) + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot y_1(t) \cdot y_2(t) + a_2^2 \cdot y_2^2(t) \neq a_1 \cdot y_1(t) + a_2 \cdot y_2(t) \end{aligned}$$

Επειδή σε τέτοια μη-ΓΧΑ συστήματα η έξοδος είναι εξαρτώμενη από το σήμα εισόδου, και για τυποποίηση της μεθοδολογίας μέτρησης του είδους και του βαθμού μη-γραμμικότητας του συστήματος, χρησιμοποιείται σαν είσοδος τυποποιημένο αρμονικό σήμα της μορφής:

$$x_1(t) = a_1 \sin(\omega_1 t)$$

Όπου a_1 και ω_1 ορίζουν το πλάτος και την συχνότητα του σήματος αντίστοιχα. Ο βαθμός μη-γραμμικής συμπεριφοράς προκύπτει από τον υπολογισμό της ενέργειας που θα εμφανισθεί σε αρμονικά πολλαπλάσια της συχνότητας του σήματος εισόδου, δηλαδή για $n \cdot \omega_1$, όπου $n = 2, 3, \dots$.

Αυτή η μέθοδος υπολογίζει την **Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion, THD)** που ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εμφανίζεται σε αρμονικά πολλαπλάσια της συχνότητας του σήματος εισόδου ως προς την ενέργεια της αρχικής συχνότητας εισόδου, δηλαδή:

$$THD = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} a_n^2}{a_1^2} \quad (6\alpha)$$

Πρακτικά, σαν a_1 και a_n θεωρούνται οι rms τιμές πλάτους (π.χ. τάσης) των αντιστοίχων σημάτων και συνήθως, κατά τον υπολογισμό της παραπάνω τιμής λαμβάνονται υπόψιν οι αρμονικές για τιμές του $n = 2$ έως $n = 9$.

Ο υπολογισμός της % THD γίνεται κάνοντας χρήση της σχέσης:

$$\%THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} a_n^2}}{a_1} \cdot 100 \quad (6\beta)$$

Ενώ αν η μέτρηση του πλάτους των αρμονικών a_n γίνεται σε dB, τότε:

$$THD = 20 \log \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left[10^{\left(\frac{-a_n}{20}\right)} \right]^2} \quad (dB) = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left[10^{\left(\frac{-a_n}{20}\right)} \right]^2} \cdot 100\% \quad 6(\gamma)$$

Σε αρκετές περιπτώσεις υπολογίζεται η **συνολική αρμονική παραμόρφωση + θόρυβος (Total Harmonic Distortion+Noise, THD+N)**, όπου για την εκτίμησή της λαμβάνονται υπόψιν, όχι μόνον οι αρμονικές του σήματος εισόδου, αλλά και ο συνολικός θόρυβος που παρουσιάζεται στην έξοδο του συστήματος (δες 2.1 και 2.2).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Ανάλυση γραμμικών παραμορφώσεων

Στην άσκηση αυτή έχει επιλεγεί να εξεταστεί ένα ηλεκτρικό υποσύστημα μιας ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης (**Σχήμα 2(β)**), που στην προκειμένη περίπτωση είναι μια συσκευή προενίσχυσης/ μίξης σημάτων ήχου.

(α) αν $|S(\omega)| = 1$ για όλα τα ω , δηλαδή έχει μορφή λευκού θορύβου, τότε $|R(\omega)| = |H(\omega)|$ και συνεπώς μέτρηση του πλάτους του φάσματος του σήματος εξόδου παράγει κατ' ευθείαν το μέτρο της απόκρισης συχνότητας της συσκευής.

(β) αν $|S(\omega)| = 1$ για $\omega = \omega_n$ δηλαδή είναι ένα ημίτονο, τότε $|S(\omega_n)| = |H(\omega_n)|$, για αυτήν τη συχνότητα. Έτσι, ένα σύνολο διακριτών εισόδων ημιτόνων ίσου πλάτους, αλλά διαφορετικών συχνοτήτων $\omega = \omega_1, \dots, \omega_n$, που καλύπτει όλο το εύρος συχνοτήτων ενδιαφέροντος, θα παράγει διακριτές τιμές της θεωρητικά συνεχούς συνάρτησης $|H(\omega)|$. Η προσεγγιστική αυτή μέθοδος επιτρέπει την εύκολη μέτρηση της απόκρισης συχνότητας με προσιτό εξοπλισμό (γεννήτρια συχνοτήτων και βολτόμετρο).

3.1.1 Συνδεσμολογία και μετρήσεις απόκρισης συχνότητας με ημίτονο Η συνδεσμολογία (φαίνεται στο **Σχήμα 3**) και οι μετρήσεις έχουν ως εξής:

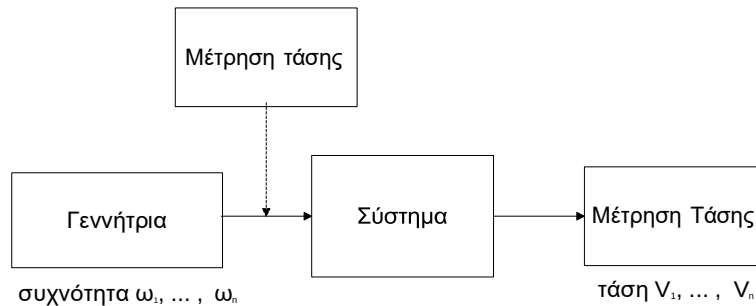
- (α) συνδέεται στην είσοδο της προς μέτρηση συσκευής γεννήτρια ημιτόνων και **ρυθμίζεται ώστε να παράγει συχνότητα 1000Hz και πλάτους 2 Volt p-p.**
- (β) **μετριέται η τιμή της εξόδου** με βολτόμετρο ή παλμογράφο και υπολογίζεται η τιμή του πλάτους απόκρισης σε dBV.
- (γ) **επαναλαμβάνονται** τα βήματα (α) και (β) για συχνότητες από το κατώτερο επιθυμητό όριο συχνότητας (π.χ. 100Hz), μέχρι και το ανώτερο (π.χ. 10KHz) με βήμα συχνότητας ανάλογο προς την επιθυμητή διακριτότητα (ιδανικά 100Hz, αλλά για πρακτικά υλοποιήσιμη διαδικασία

στις συχνότητες IEC 225 που αντιστοιχούν σε 10 κεντρικές συχνότητες φίλτρων οκτάβας, δηλαδή 31.5, 63, 125, 250, 500 Hz, 1, 2, 4, 8, 16KHz).

(δ) **επαναλαμβάνετε** τη διαδικασία μέτρησης ρυθμίζοντας τα φίλτρα εισόδου της προς μέτρηση συσκευής για τις παρακάτω περιπτώσεις:

δ1. Αποκόπτονται οι χαμηλές συχνότητες.

δ2. Αποκόπτονται οι ψηλές συχνότητες.



Σχήμα 3: Μέτρηση απόκρισης συχνότητας με χρήση ημιτονοειδούς διέγερσης.

3.1.2 Επεξεργασία και παραδοτέα των μετρήσεων απόκρισης συχνότητας

- (α) Να σχεδιαστεί και να παραδοθεί η καμπύλη του μέτρου της απόκρισης συχνότητας (dB - KHz), όπως προκύπτει από τις μετρήσεις στο σκέλος 3.1.1. Για κάθε περίπτωση, να σημειωθεί η αντίστοιχη ρύθμιση που πραγματοποιήθηκε στα φίλτρα εισόδου της προς μέτρηση συσκευής.
- (β) Να υπολογιστούν οι συχνότητες αποκοπής (3 dB σημεία) του συστήματος που μετρήθηκε (3.1.1 (γ) και 3.1.2 (α1)).
- (γ) Να υπολογιστεί η τάξη και κλίση αποκοπής των φίλτρων (dB / οκτάβα) (3.1.1 και 3.1.2).
- (δ) Με χρήση κώδικα Matlab/Octave ή python να σχεδιάσετε φίλτρο (FIR ή IIR) με τα ίδια χαρακτηριστικά όπως αυτό που προέκυψε από τις μετρήσεις της 3.1.1 (δ)

Μετρήσεις λόγου σήματος προς θόρυβο**3.1.3 Παρατηρήσεις**

Από τον ορισμό της σχέσης (5) φαίνεται ότι υπολογισμός του SNR απαιτεί μέτρηση των rms τιμών των σημάτων $r(t)$ και $n(t)$. Στην πράξη, αυτό επιτυγχάνεται παρατηρώντας ότι:

- (α) Το σήμα $n(t)$ είναι προφανώς η έξοδος του συστήματος απουσία σήματος εισόδου.
- (β) Το σήμα $r(t)$ είναι η συνολική έξοδος του συστήματος, παρουσία σήματος εισόδου. Βέβαια, είναι προφανές ότι για να επιτευχθεί η μεγαλύτερη (χαρακτηριστική) τιμή SNR, θα πρέπει να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή $r(t)$ και κατ' επέκταση τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή $s(t)$. Στην πράξη βέβαια είναι αδύνατο να αυξηθεί επ' άπειρο το πλάτος του σήματος εισόδου, αφού έτσι θα παραχθεί ψαλιδισμός και κατά συνέπεια μη-γραμμική λειτουργία του συστήματος.
- (γ) Για τον παραπάνω λόγο, η συνηθέστερη κατηγορία σημάτων ελέγχου για είσοδο είναι ημίτονα συχνότητας 1000 Hz και μέγιστου πλάτους πριν τον ψαλιδισμό, στο μέγιστο δηλαδή πλάτος σήματος για το οποίο το σύστημα λειτουργεί ως ΓΧΑ.

3.1.4 Συνδεσμολογία - Μετρήσεις

Η συνδεσμολογία (βλ. **Σχήμα 5**) και η διαδικασία μέτρησης, έχει ως εξής:

- (α) **προσαρμόζεται σήμα εισόδου** στο υπό μέτρηση σύστημα από γεννήτρια ημιτόνων και ρυθμίζεται η συχνότητά του στα 1000 Hz και το πλάτος του, έτσι ώστε να μην παρατηρείται ψαλιδισμός στο σήμα εξόδου. Αυτή η παρατήρηση γίνεται είτε με τη χρήση παλμογράφου, είτε με την παράλληλη σύνδεση στην έξοδο ενός αναλυτή φάσματος. Είναι επίσης χρήσιμο, αλλά όχι απαραίτητο, να μετρηθεί η rms και μέγιστη τιμή του σήματος εισόδου.
- (β) συνδέεται στην έξοδο του υπο μέτρηση συστήματος (συσκευής) ευαίσθητο βολτόμετρο ή παλμογράφος και **μετριέται η rms τιμή του σήματος εξόδου** παρουσία εισόδου (βλ. **Σχήμα 5 (α)**).
- (γ) **μετριέται η rms τιμή του σήματος εξόδου**, απουσία εισόδου (βλ. **Σχήμα 5 (β)**) και υπολογίζεται η τιμή SNR σύμφωνα με τη σχέση (5).

3.1.5 Επεξεργασία και παραδοτέα μετρήσεων λόγου σήματος προς θόρυβο

Να καταγραφεί και να δοθεί η τιμή του SNR που υπολογίστηκε.

3.2 Μετρήσεις αρμονικής παραμόρφωσης

3.2.1 Παρατηρήσεις

Για την ανάλυση και τη μέτρηση της THD θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αναλυτής φάσματος όπου να καταγράφεται το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος εισόδου και των αρμονικών που προκύπτουν. Πρακτικά, η ανάλυση φάσματος μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα με τη χρήση λογισμικού σε υπολογιστή (π.χ. LabView) και κάρτας ήχου, όμως στα πλαίσια αυτής της άσκησης, θα χρησιμοποιηθεί ψηφιακός παλμογράφος με την αντίστοιχη δυνατότητα.

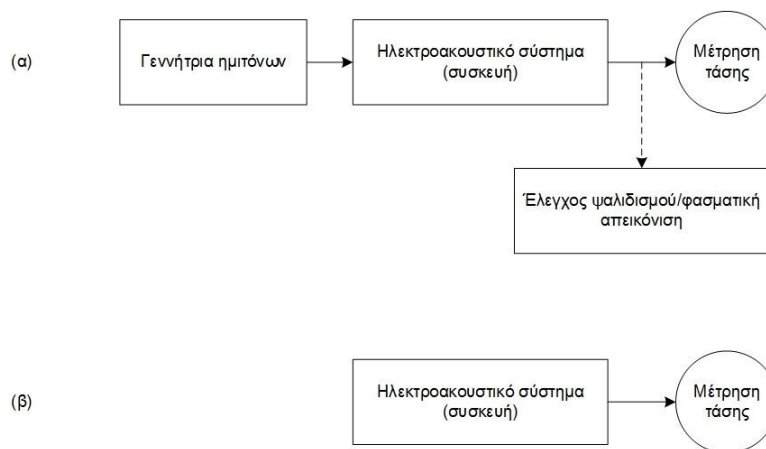
3.2.2 Συνδεσμολογία και μετρήσεις απόκρισης συχνότητας

Η συνδεσμολογία (φαίνεται στο **Σχήμα 6**) και οι μετρήσεις έχουν ως εξής:

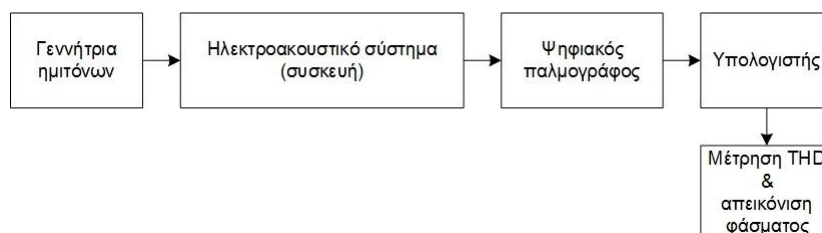
- (α) Επαναλαμβάνεται το βήμα 3.2.2. (α) (σύνδεση κατάλληλου σήματος εισόδου).
- (γ) συνδέεται η έξοδος του υπό μέτρηση συστήματος στον ψηφιακό παλμογράφο.
- (δ) μετρείται από το μενού του ψηφιακού παλμογράφου η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση **THD** σε % dB.
- (ε) καταγράφεται το φάσμα του σήματος εξόδου για τις ρυθμίσεις (α).
- (ζ) το μετρούμενο σύστημα οδηγείται εκτός γραμμικής περιοχής λειτουργίας και καταγράφεται εκ νέου το φάσμα του σήματος εξόδου.

3.2.3 Επεξεργασία και παραδοτέα των μετρήσεων αρμονικής παραμόρφωσης

- (α) Να δοθεί η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση THD του μετρημένου συστήματος της 3.2.2
- (β) Να δοθεί το μέτρο του φάσματος για τις περιπτώσεις (3.2.2 (ε), (ζ)).



Σχήμα 5: Μέτρηση Λόγου Σήματος Προς Θόρυβο: **(α)** μέτρηση συνολικής εξόδου συστήματος, **(β)** μέτρηση θορύβου συστήματος.



Σχήμα 6: Μέτρηση Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης.

3.2.4 Υπολογισμός αρμονικής παραμόρφωσης δοθέντος αρμονικού σήματος

Δίνεται αρχείο τύπου wav (στο eclass) που περιέχει την κυματομορφή ημιτόνου με θεμελιώδη συχνότητα 1 KHz, το οποίο έχει υποστεί μη γραμμική παραμόρφωση. Με χρήση matlab (ή octave)

- α) Χρησιμοποιώντας, ενδεικτικά, την συνάρτηση periodgram, απεικονίστε το φάσμα Ισχύος (Power) dB. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση periodgram δίνοντας κατάλληλα ορίσματα, τα οποία μπορείτε να βρείτε στο documentation (παρακάτω επισυνάπτεται σχετικός σύνδεσμος). Θα πρέπει το φάσμα να το κατασκευάσετε μόνοι σας, χωρίς να χρησιμοποιήσετε τη συνάρτηση thd.
- β) Να υπολογιστεί και να παρουσιαστεί η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του σήματος, είτε με συνάρτηση της matlab είτε με το χέρι από το παραπάνω διάγραμμα που κατασκευάσατε.

Για τα παραπάνω ερωτήματα εκτός της αναφοράς, παραδίδεται και ο κώδικας.

Ενδεικτικά, στους παρακάτω συνδέσμους αναζητήσετε πληροφορίες για τη χρήση συναρτήσεων της MATLAB που θα χρησιμοποιήσετε στην υλοποίηση των παραδοτέων αυτού του ερωτήματος:

<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/thd.html>

<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/periodogram.html>

<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/pow2db.html>

<https://www.mathworks.com/help/signal/ref/mag2db.html>