

ΑΣΚΗΣΗ 6^η

*Μελέτη βασικών χαρακτηριστικών των κυμάτων
με διάταξη υπερήχων*

Επιμέλεια κειμένου - ανασύνθεσης: Δ. Κυριάκος

Μελέτη – ανάπτυξη: Ι. Σαμαράς

Ανασύνθεση: Δ. Ευαγγελινός, Ο. Βαλασιάδης

ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Να παρατηρηθούν, πειραματικά, βασικά κυματικά φαινόμενα όπως η διάδοση και η ανάκλαση κυμάτων. Να προσδιοριστούν τα βασικά χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων όπως η συχνότητα, η ταχύτητα και το μήκος κύματος, με την βοήθεια μιας κατάλληλης διάταξης υπερήχων.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΗΧΟΙ ΚΑΙ ΥΠΕΡΗΧΟΙ

Ως **ήχος** χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε **μηχανικό ελαστικό κύμα** ή γενικότερα μία **μηχανική διαταραχή** που διαδίδεται σε ένα **υλικό μέσο** και είναι δυνατόν να ανιχνευθεί από τον άνθρωπο με το αισθητήριο της ακοής. Ένα υλικό μέσο χαρακτηρίζεται ως **ελαστικό** όταν τα μόριά του αλληλεπιδρούν με δυνάμεις που εξαρτώνται μόνο από τις μεταξύ τους θέσεις [ΓΦ, σελ. 287]

Θυμίζουμε ότι στα ελαστικά μέσα το κύμα είναι ο **μηχανισμός διάδοσης ταλαντώσεων** στα διάφορα σημεία του. Οι ταλαντώσεις (γενικότερα η διαταραχή του μέσου) προκαλούνται από την ταλάντωση μιας πηγής που ονομάζεται **Πομπός**.

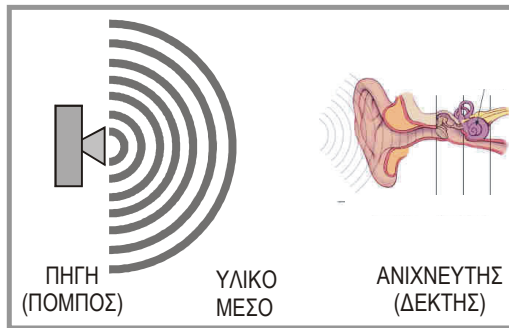
Το βασικό χαρακτηριστικό των κυμάτων είναι ότι μεταφέρουν ενέργεια από την πηγή σε όλα τα σημεία του ελαστικού μέσου, χωρίς όμως να μεταφέρουν μάζα. Τα μόρια δηλαδή του μέσου δεν εκτελούν μεταφορική κίνηση, αλλά ταλαντώνονται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους.

Αν τώρα σε ένα σημείο του χώρου όπου διαδίδεται το κύμα τοποθετηθεί ένας **Δέκτης** ή **Ανιχνευτής** (όπως το αυτί μας στο Σχήμα 1), τότε η διαδιδόμενη διαταραχή μπορεί να γίνει αντιληπτή. Στην καθημερινή μας ζωή όλοι οι ήχοι που αντιλαμβανόμαστε μπορούν να περιγραφούν με τον παραπάνω μηχανισμό.

Ο ήχος διαδίδεται μέσα στην ύλη και στις τρεις φάσεις της, δηλαδή τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια. Η διάδοση αυτής της διαταραχής γίνεται με πεπερασμένη ταχύτητα που είναι χαρακτηριστική ιδιότητα του μέσου. Ειδικότερα για τα ηχητικά κύματα, αυτά είναι πάντοτε διαμήκη στα αέρια (π.χ. τον ατμοσφαιρικό αέρα) και τα υγρά, ενώ στα στερεά μπορεί να είναι και διαμήκη και εγκάρσια. Τα ηχητικά κύματα στον αέρα όταν προέρχονται από σημειακή πηγή είναι σφαιρικά διαμήκη κύματα [ΓΦ, σελ. 328].

Τα βασικά αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου στην περίπτωση των απλών (αρμονικών) ήχων είναι η **συχνότητα**, το **πλάτος** και η **ένταση**. Σ' αυτά πρέπει να προστεθούν και τα γενικά χαρακτηριστικά των κυμάτων, δηλαδή η **ταχύτητα** και το **μήκος κύματος**.

Ο άνθρωπος είναι γενικά παραδεκτό ότι μπορεί να αντιληφθεί ήχους στο λεγόμενο **ακουστό φάσμα συχνοτήτων**, που περιλαμβάνει συχνότητες από 20 Hz έως 20 kHz. Το εύρος συχνοτήτων



Σχήμα 1: Η πορεία των ηχητικών κυμάτων από τον Πομπό στον Δέκτη.

που μπορεί να ακούσει ένας άνθρωπος εξαρτάται από την ένταση του ήχου [ΓΦ, Εικόνα 10.27 σελ. 332] και μειώνεται αυξανομένης της ηλικίας του.

Οι ήχοι χαμηλότερης συχνότητας από το ακουστικό φάσμα ονομάζονται **υπόηχοι** (π.χ. βουή προκαλούμενη από σεισμό) ενώ πάνω από τα 20 kHz οι ήχοι χαρακτηρίζονται ως **υπερήχοι** (π.χ. ειδική σφυρίχτρα για σκύλους, φωνή νυχτερίδας).



Σχήμα 2: Ταξινόμηση των ηχητικών κυμάτων ανάλογα με την συχνότητα.

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων συχνότητας περίπου 40 kHz, δηλαδή στην περιοχή των υπερήχων. Η επιλογή των υπερήχων είναι κατάλληλη στο περιβάλλον του μαθήματος, διότι επιτρέπει α) την παράλληλη εργασία πολλών ομάδων χωρίς να ενοχλεί η μία την άλλη και β) την πειραματική εργασία χωρίς ηχητικές παρεμβολές στο ακουστικό φάσμα συχνοτήτων (ομιλίες, θόρυβοι κ.λ.π.)

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Προσπαθώντας να προσεγγίσουμε και να περιγράψουμε από την πλευρά της Φυσικής το φαινόμενο της διάδοσης των κυμάτων στον αέρα, μπορούμε να ακολουθήσουμε είτε μια μικροσκοπική είτε μια μακροσκοπική προσέγγιση. Στην πρώτη, προσπαθούμε να περιγράψουμε την κίνηση των μορίων του ελαστικού μέσου μέσα στο οποίο διαδίδεται το κύμα. Στην δεύτερη περιγράφουμε την ροή της ηχητικής ενέργειας μέσα στον χώρο.

Για να προκύψει ένα κύμα απαιτείται μία πηγή. Αυτή μπορεί να είναι μία τοπική διαταραχή του μέσου π.χ. ένας παλμός (όπως το κτύπημα μιας πέτρας στο τζάμι), ή ένας μηχανικός ταλαντωτής που διεγείρει τα μόρια του μέσου. Στην άσκηση αυτή μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τα απλά αρμονικά κύματα, αυτά δηλαδή που έχουν ως πηγή έναν αρμονικό ταλαντωτή.

Για τις ανάγκες της άσκησης θα θεωρήσουμε τις πηγές που έχουν μικρές σχετικά διαστάσεις (όπως ο Πομπός υπερήχων που θα χρησιμοποιήσουμε) σαν σημειακές.

Η ελεύθερη αρμονική ταλάντωση μιας σημειακής πηγής περιγράφεται με την γνωστή εξίσωση του ταλαντωτή

$$\psi(t) = A\eta\mu(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

όπου A είναι το πλάτος της ταλάντωσης, $\omega = 2\pi f$ είναι η **κυκλική ιδιοσυχνότητα** του ταλαντωτή και φ η αρχική φάση.

Αυτή η ταλάντωση τώρα διαδίδεται μέσα στο ελαστικό μέσο, γιατί τα γειτονικά μόρια του ταλαντωτή, καθώς συνδέονται με αυτό με ελαστικές δυνάμεις (σύζευξη ταλαντωτών), εξαναγκάζονται και αυτά σε αρμονική ταλάντωση με την ίδια (κυκλική) συχνότητα ω . Πρόκειται καθαρά για έναν μηχανισμό *εξαναγκασμένης ταλάντωσης*. Είναι φανερό ότι για να διατηρείται αμείωτη η ενέργεια της πηγής, δηλ. το πλάτος της ταλάντωσης, χρειάζεται συνεχής προσφορά ενέργειας προς αυτήν.

Η διάδοση του κύματος μέσα στον αέρα είναι φαινόμενο που εξελίσσεται σε τρεις διαστάσεις και περιγράφεται με μία συνάρτηση του χρόνου και της θέσης. Αν απλουστεύσουμε όμως το πρόβλημα σε μία διάσταση (μονοδιάστατο κύμα), τότε κατά μήκος μιας ακτίνας διάδοσης η εξίσωση του κύματος (παραλείποντας την αρχική φάση) είναι:

$$\psi(x,t) = A\eta\mu(kx - \omega t) \quad (2)$$

όπου: A το πλάτος ταλάντωσης, k ο κυματικός αριθμός, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ το μήκος κύματος και x η απόσταση από την πηγή.

Η ανίχνευση της ταλάντωσης σε ορισμένη θέση x γίνεται με κατάλληλο ανιχνευτή ο οποίος είναι και αυτός ταλαντωτής που μπορεί να συντονιστεί στη συχνότητα του κύματος και συνεπώς να προσλάβει ενέργεια από το κύμα.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η ενεργειακή αυτή αλυσίδα, θεωρήστε ένα παράδειγμα από την μουσική: χτυπώντας την χορδή μιας κιθάρας, της δίνουμε μία αρχική ποσότητα ενέργειας η οποία προκαλεί στην χορδή μια δισδιάστατη ταλάντωση [παράβαλε ΓΦ, σελ. 309]. Η ταλάντωση της χορδής επιβάλλει αντίστοιχη διαταραχή των γειτονικών μορίων του αέρα. Η διαταραχή διαδίδεται στον χώρο και η ανίχνυσή της μπορεί να γίνει από έναν ταλαντωτή, όπως είναι το τύμπανο του αυτιού μας, ή η μεμβράνη ενός συνηθισμένου μικροφώνου, τα οποία και εξαναγκάζονται σε ταλάντωση συχνότητας ίδιας με αυτήν της παλλόμενης χορδής. Στο αυτί μας ο ήχος αξιοποιείται για να προκαλέσει την αίσθηση της ακοής, ενώ στο μικρόφωνο για την παραγωγή μιας ηλεκτρικής τάσης η οποία στην συνέχεια μπορεί να καταγραφεί π.χ. σε ένα μαγνητόφωνο.

3. ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Όπως αναφέραμε, το κύμα είναι ένας μηχανισμός διάδοσης μιας διαταραχής (ή ενέργειας στην μακροσκοπική περιγραφή) ο οποίος υπόκειται σε ιδιαίτερους νόμους, οι οποίοι διαφέρουν πολύ από αυτούς της μηχανικής του υλικού σημείου.

Όταν το κύμα που προέρχεται από μία πηγή προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων ή επάνω σε εμπόδια, τότε ανάλογα με τις διαστάσεις του εμποδίου ή της επιφάνειας συμβαίνουν τα ακόλουθα φαινόμενα:

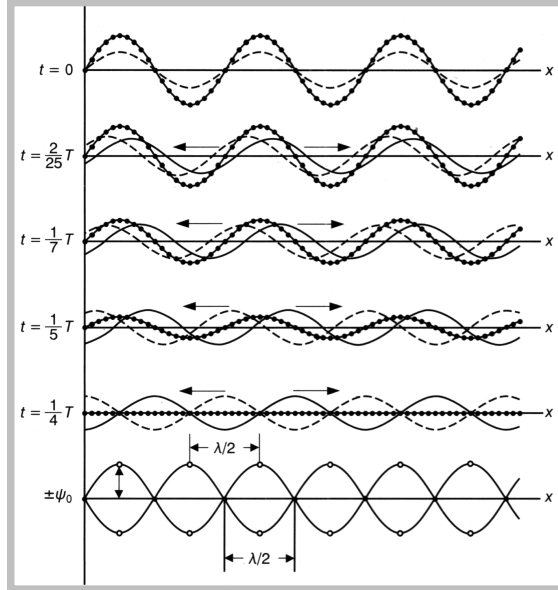
- α) **Ανάκλαση.** Στο φαινόμενο της πολλαπλής ανάκλασης μπορούμε να αποδώσουμε το γνωστό φαινόμενο της ηχούς σε ορεινές περιοχές.
- β) **Διάθλαση,** δηλαδή η διαταραχή εισέρχεται μέσα στο δεύτερο μέσο, με παράλληλη αλλαγή της διεύθυνσης διάδοσης ή του μετώπου κύματος. Το φαινόμενο της εισόδου και διάδοσης του ήχου σε ένα άλλο μέσο συμβαίνει όταν ακούμε π.χ. τους ήχους που παράγονται στο γειτονικό διαμέρισμα, είτε ακουμπώντας το αυτί μας στον τοίχο, είτε άμεσα δια του αέρος που μας περιβάλλει (όταν ο ήχος έχει μεγάλη ένταση). Η αλλαγή της διεύθυνσης είναι φαινόμενο που παρατηρείται δύσκολα, αλλά συμβαίνει π.χ. όταν υπάρχουν κατάλληλες μετεωρολογικές συνθήκες που μεταβάλλουν την θερμοκρασία και την πίεση του αέρα, παράγοντες που επιδρούν άμεσα στην ταχύτητα του ήχου και την διεύθυνση διάδοσης. Για παράδειγμα, είναι δύσκολο να αντιληφθούμε από ποιο ακριβώς διαμέρισμα σε άλλο όροφο προέρχεται ένας θόρυβος, διότι το κύμα από την πηγή μέχρι να φτάσει στο αυτί μας έχει ακολουθήσει μια πολύπλοκη διαδρομή.
- γ) **Περίθλαση,** δηλαδή εκτροπή του κύματος από την αρχική διεύθυνση διάδοσης όταν συναντήσει ένα εμπόδιο και διάδοσή του πίσω από το εμπόδιο. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ακούμε τους ήχους που π.χ. παράγονται στο διπλανό δωμάτιο (σαν ο ήχος να “στρίβει” από την ανοιχτή πόρτα).
- δ) **Συμβολή.** Για τα κύματα ισχύει η αρχή της επαλληλίας, οπότε αν από ένα σημείο του μέσου περνούν δύο ή και περισσότερα κύματα, η ολική διαταραχή (ταλάντωση) είναι το άθροισμα (γεωμετρικό) των επιμέρους διαταραχών. Όταν οι επιμέρους ταλαντώσεις σημείου

που οφείλονται σε διαφορετικά κύματα έχουν σταθερή διαφορά φάσης, τότε τα κύματα είναι **σύμφωνα** και το αποτέλεσμα της επαλληλίας τους ονομάζεται **συμβολή**.

Δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις επαλληλίας κυμάτων είναι τα **στάσιμα κύματα** (ιδιαίτερη περίπτωση συμβολής) και τα **διακροτήματα**.

Τα στάσιμα κύματα δημιουργούνται από την συμβολή δύο κυμάτων που έχουν **το ίδιο πλάτος, την ίδια συχνότητα και αντίθετη διεύθυνση διάδοσης**. Στάσιμα κύματα μπορούν να προκύψουν στον χώρο ανάμεσα σε δύο πηγές που εκπέμπουν σε αντίθετες κατευθύνσεις επίπεδα κύματα.

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ο μηχανισμός δημιουργίας ενός διαστάτου στάσιμου εγκάρσιου κύματος σε ακλόνητη άκρη ελαστικής χορδής [ΓΦ, Εικόνα 10.12 σελ. 307]. Στην περίπτωση των ηχητικών κυμάτων, πρέπει να φανταστούμε τον παραπάνω μηχανισμό σε τρεις διαστάσεις και για διαμήκη κύματα.



Σχήμα 3: Παραγωγή στασίμων κυμάτων.

Η εξίσωση ενός στάσιμου κύματος που παράγεται από δύο κύματα

$$\begin{aligned} \psi_1 &= A\eta\mu(kx + \omega t) \quad \text{και} \\ \psi_2 &= -A\eta\mu(-kx + \omega t) \quad \text{είναι:} \\ \psi &= \psi_1 + \psi_2 = 2A\eta\mu kx \sigma\upsilon\nu \omega t \quad (3) \end{aligned}$$

Στην γενικότερη περίπτωση, όπου τα πλάτη των δύο κυμάτων δεν είναι ίσα, το πλάτος είναι $\psi = (A\sigma\upsilon\nu kx + B\eta\mu kx)\sigma\upsilon\nu \omega t$ όπου τα A και B δεν είναι τα πλάτη των δύο συμβαλλόντων κυμάτων, αλλά σταθερές που προσδιορίζονται από τις αρχικές συνθήκες. Το κύμα που προκύπτει χαρακτηρίζεται πάλι σαν στάσιμο, με τη διαφορά ότι το πλάτος δεν μηδενίζεται στους δεσμούς.

Παρατηρούμε από την (3) ότι στο στάσιμο ηχητικό κύμα κάθε μόριο του αέρα στην θέση x εκτελεί μια ταλάντωση με την ίδια συχνότητα ω , αλλά το πλάτος αυτής της ταλάντωσης εξαρτάται αποκλειστικά από την θέση x . Εξαιτίας του ημιτόνου το πλάτος $2A\eta\mu(kx)$ μεταβάλλεται από μηδέν μέχρι $2A$. Τα σημεία με πλάτος 0 ονομάζονται **δεσμοί** και σε αυτά προφανώς δεν υπάρχει ταλάντωση, και άρα ο ήχος δεν υφίσταται και δεν ανιχνεύεται. Τα σημεία με το μέγιστο πλάτος $2A$ ονομάζονται **κοιλίες** ή **αντιδεσμοί**. Διαδοχικοί δεσμοί ή διαδοχικές κοιλίες απέχουν μεταξύ τους απόσταση $\lambda/2$.

Τέλος, τα διακροτήματα δημιουργούνται στον χώρο από την επαλληλία δύο αρμονικών κυμάτων που διαδίδονται στην ίδια διεύθυνση, έχουν το ίδιο πλάτος αλλά λίγο διαφορετικές συχνότητες f_1 και f_2 (που αντιστοιχούν σε κυκλικές συχνότητες ω_1 και ω_2). Αποδεικνύεται (σελ. 312 Φ1) ότι στην περίπτωση αυτή προκύπτει ένα κύμα του οποίου το πλάτος είναι και αυτό αρμονικό κύμα και συνεπώς σε κάθε σημείο του χώρου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο με συχνότητα ίση με την διαφορά συχνοτήτων $f_\delta = |f_2 - f_1|$. Η περιοδική αυτή αυξομειώση του πλάτους, δηλαδή το κύμα πλάτους, αποτελεί το διακρότημα.

Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι στην παρούσα άσκηση, ενώ χειριζόμαστε πηγές υπερήχων συχνότητας ~40kHz, το αποτέλεσμα της συμβολής τους υπό την μορφή διακροτημάτων μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό από το αυτί, αν η διαφορά των συχνοτήτων εμπίπτει στο ακουστικό φάσμα.

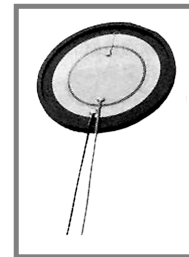
4. ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Στην άσκηση αυτή θα μετρήσουμε χαρακτηριστικά μεγέθη των υπερήχων (και γενικότερα των κυμάτων) όπως η (σχετική) ένταση, και η συχνότητα. Μερικά μεγέθη μπορούμε να τα μετρήσουμε άμεσα αλλά και έμμεσα, δηλαδή εκμεταλλευόμενοι τις κυματικές ιδιότητες των υπερήχων. Για παράδειγμα, η μέτρηση του μήκους κύματος των υπερήχων μπορεί να γίνει αν εκμεταλλευτούμε το φαινόμενο των στασίμων κυμάτων, στα οποία είδαμε ότι δύο διαδοχικοί δεσμοί ή κοιλίες απέχουν μεταξύ τους κατά $\lambda/2$.

Το φαινόμενο που εκμεταλλευόμαστε συγχρόνως και για την παραγωγή και για την ανίχνευση των υπερήχων είναι το **πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο** (1880, Pierre και Jacques Curie). **Πιεζοηλεκτρισμός** είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών τα οποία ονομάζονται *πιεζοηλεκτρικά*, να εμφανίζουν διαφορά δυναμικού όταν υφίστανται μηχανική πίεση (ή εφελκυσμό). Η πίεση διαχωρίζει τα φορτία, τα οποία συγκεντρώνονται σε αντιδιαμετρικές περιοχές του υλικού και δημιουργούν έτσι την διαφορά δυναμικού. Συνήθη πιεζοηλεκτρικά υλικά είναι κρύσταλλοι, κεραμικά ή και πλαστικά πολυμερή. Ένα κυβικό εκατοστό χαλαζία (quartz) στο οποίο εφαρμόζεται με κατάλληλο τρόπο δύναμη 2000 N μπορεί να παράγει διαφορά δυναμικού 12.5 kV!

Το φαινόμενο είναι *αντιστρεπτό*, δηλαδή τα ίδια υλικά υφίστανται παραμόρφωση (αλλάζουν σχήμα) υπό την επίδραση μιας εξωτερικά εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού. Αυτό ονομάζεται *αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο* και στην περίπτωση εφαρμογής εναλλασσόμενης τάσης παρατηρούνται ελαστικές ταλαντώσεις του υλικού. Παρόλο που η παραμόρφωση αυτή είναι πολύ μικρή, της τάξεως των νανομέτρων, η πιεζοηλεκτρισμός έχει ευρεία εφαρμογή στην παραγωγή και ανίχνευση του ήχου (πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα και μικρόφωνα), την παραγωγή παλμών υψηλής τάσης (πιεζοηλεκτρικοί αναπτήρες), την παραγωγή ηλεκτρικών σημάτων υψηλής συχνότητας, και άλλες εφαρμογές όπου απαιτούνται ακριβείς μικρές μηχανικές μετατοπίσεις ενός εξαρτήματος. Μία πασίγνωστη εφαρμογή των υλικών αυτών είναι στα ηλεκτρονικά ρολόγια, όπου μικροί κρύσταλλοι χαλαζία (quartz) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων εξαιρετικά σταθερής συχνότητας.

Το πιο διαδεδομένο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο (**ΠΣ**) για την παραγωγή (μεγάφωνο) και την ανίχνευση (μικρόφωνο) ήχων και υπερήχων έχει την μορφή ενός φυλλόμορφου δίσκου με αγώγιμες πλευρές, στις οποίες είναι συγκολλημένοι δύο ακροδέκτες (βλ. Εικόνα 1). Αν στους ακροδέκτες αυτούς εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση, τότε το ΠΣ παραμορφώνεται με περιοδικό τρόπο και λειτουργεί ως μεγάφωνο. Τέτοια μεγάφωνα χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα, τις μουσικές ευχετήριες κάρτες κλπ. Η δυνατότητα παραγωγής ήχου συγκεκριμένης συχνοτικής περιοχής εξαρτάται από τις διαστάσεις (εμβαδόν, πάχος, μάζα) και τα χαρακτηριστικά του υλικού.



Εικόνα 1:
Τυπικό πιεζοηλεκτρικό στοιχείο για την παραγωγή υπερήχων.

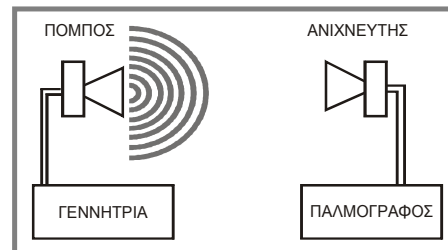
Για την παραγωγή υπερήχων χρησιμοποιούνται πιεζοηλεκτρικά στοιχεία μικρού μεγέθους και μάζας, για να μπορούν να ταλαντώνονται σε υψηλές συχνότητες.

Αν τώρα στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο προσπέσει ένα ηχητικό (ή υπερηχητικό) κύμα, τότε εξαναγκάζεται σε ταλάντωση, η οποία προκαλεί μηχανική παραμόρφωση και άρα εμφάνιση εναλλασσόμενης τάσης στους ακροδέκτες, συχνότητας ίσης με αυτή του προσπίπτοντος ήχου. Το πλάτος της τάσης είναι συνήθως μικρό (της τάξεως λίγων mV), και γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιείται και ένας ενισχυτής τάσης.

Για την παραγωγή υπερήχων στην άσκηση αυτή χρησιμοποιείται ένας **Πομπός (Π)** ο οποίος περιλαμβάνει μία γεννήτρια συχνοτήτων η οποία παράγει εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενη συχνότητα, η οποία εφαρμόζεται σε ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο.

Για την ανίχνευση των υπερήχων χρησιμοποιείται είτε ένας **Ανιχνευτής (Α)** είτε ένας **Δέκτης (Δ)** υπερήχων, συνδεδεμένος με έναν Παλμογράφο.

Ο Ανιχνευτής περιέχει μόνο το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο, ενώ ο Δέκτης συμπεριλαμβάνει και ενισχυτή με ενίσχυση ελεγχόμενη από τον χρήστη.



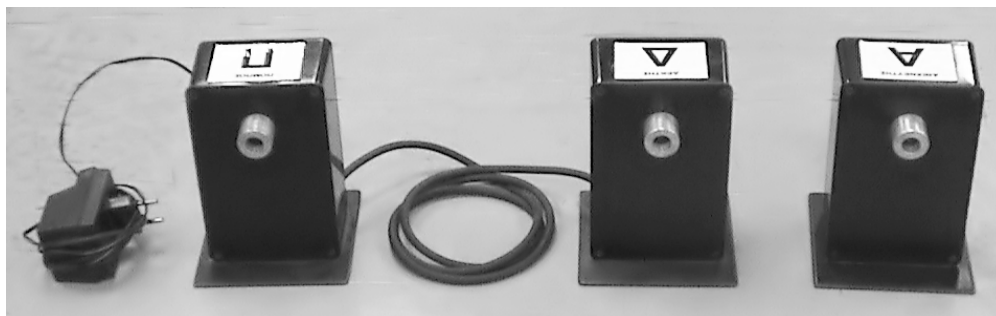
Σχήμα 4: Σχηματική πειραματική διάταξη παραγωγής και ανίχνευσης υπερήχων.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο Πομπός, ο Ανιχνευτής και ο Δέκτης περιλαμβάνουν τον ίδιο ακριβώς τύπο πιεζοηλεκτρικού στοιχείου, έτσι ώστε όλοι τους να έχουν παραπλήσιες ιδιοσυχνότητες. Οι ιδιοσυχνότητες δεν συμπίπτουν ακριβώς, λόγω των κατασκευαστικών ανοχών των ΠΣ.

5. ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Στην άσκηση θα χρησιμοποιήσετε τα εξής όργανα:

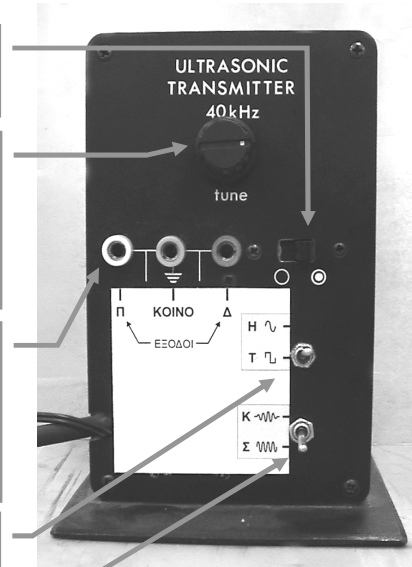
- Έναν Πομπό, έναν Δέκτη και έναν Ανιχνευτή υπερήχων. Και οι τρεις συσκευές περιέχουν ένα μικρό πιεζοηλεκτρικό στοιχείο τοποθετημένο στην πρόσοψη ενός πλαστικού κουτιού, το οποίο στο πάνω μέρος φέρει αντίστοιχα την ένδειξη Π, Δ και Α όπως στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2: Ο Πομπός, ο Δέκτης και ο Ανιχνευτής. Παρατηρείστε ότι το Τροφοδοτικό συνδέεται με τον Πομπό, ο οποίος στην συνέχεια τροφοδοτεί τον ενισχυτή που βρίσκεται μέσα στον Δέκτη. Το σήμα που παράγει ο Δέκτης οδηγείται σε ακροδέκτη εξόδου του Πομπού.



Ο **Πομπός** στο πίσω μέρος του περιλαμβάνει:

- Διακόπτη ON-OFF** για την παραγωγή ή όχι υπερήχων. Ο άδειος κύκλος  σημαίνει **OFF** και ο γεμάτος  σημαίνει **ON**.
- Ρυθμιστή συχνότητας εκπομπής **tune****. Μεταβάλλει την συχνότητα των υπερήχων από 36 έως 45 kHz περίπου με σκοπό την ρύθμιση της συχνότητας της εσωτερικής γεννήτριας ώστε να επιτευχθεί συντονισμός με το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Στην συχνότητα συντονισμού ο Πομπός παράγει μέγιστη ισχύ υπερήχων.
- Ακροδέκτες εξόδου**: Ο ακροδέκτης **ΚΟΙΝΟ** είναι η γείωση η οποία πρέπει να συνδέεται στην γείωση του παλμογράφου. Στον ακροδέκτη **Π** υπάρχει το σήμα που παράγει η εσωτερική γεννήτρια 40 kHz, το οποίο και οδηγεί το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Στον ακροδέκτη **Δ** υπάρχει το ενισχυμένο σήμα που λαμβάνει ο Δέκτης.
- Διακόπτη επιλογής κυματομορφής**: **Η** μιτονική ή **Τ** τετραγωνική
- Διακόπτη επιλογής λειτουργίας**: ο Πομπός μπορεί να παράγει είτε **Σ** συνεχές κύμα ή **Κ** ιμματοσυρμό, ο οποίος είναι σειρά παλμών μικρής διάρκειας που καλούνται **κυματοδέματα**.



Εικόνα 3: Ρυθμίσεις και ακροδέκτες του Πομπού.

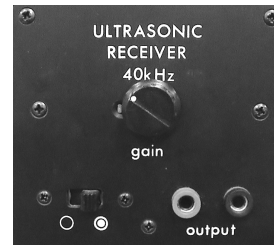
Ο **Δέκτης** στην πίσω πλευρά περιλαμβάνει:

Διακόπτη ON-OFF για την τροφοδοσία του ενισχυτή του Δέκτη. Ο άδειος κύκλος  σημαίνει **OFF** και ο γεμάτος  σημαίνει **ON**.

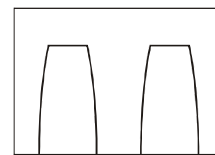
Ρυθμιστή ενίσχυσης **gain**. Ρυθμίζει την ενίσχυση ώστε το σήμα να ενισχύεται, όταν χρειάζεται, ή να μειώνεται, στην περίπτωση που ο υπέρηχος έχει μεγάλη ένταση και η εικόνα στον παλμογράφο εμφανίζει ψαλιδισμό (clipping).

Στο διπλανό σχήμα βλέπετε τον τρόπο με τον οποίο ο Δέκτης εμφανίζει το σήμα στην έξοδο, όταν αυτό έχει υποστεί ψαλιδισμό, οπότε και απαιτείται μείωση της ρύθμισης gain. Παρατηρείστε ότι οι κορυφές της κυματομορφής μοιάζουν σαν “κομμένες με ψαλίδι”.

Στην βάση όλων των κουτιών είναι προσαρμοσμένη μια μεταλλική πλάκα, η οποία τους επιτρέπει και να στηρίζονται με ασφάλεια αλλά και να προσαρμόζονται με δυνατότητα ευθύγραμμης ολίσθησης κατά μήκος κατάλληλα διαμορφωμένων μεταλλικών οδηγών. Στην διπλανή εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ένα κουτί εισάγεται μέσα στον οδηγό.



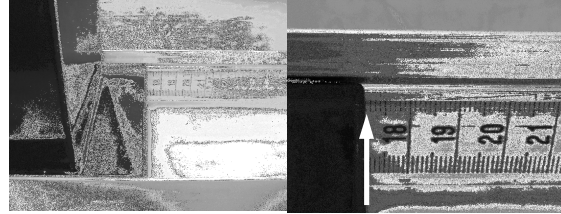
Εικόνα 4: Ρυθμίσεις και ακροδέκτες του Δέκτη.



Εικόνα 5: Εισαγωγή ενός κουτιού (A) μέσα στον οδηγό.

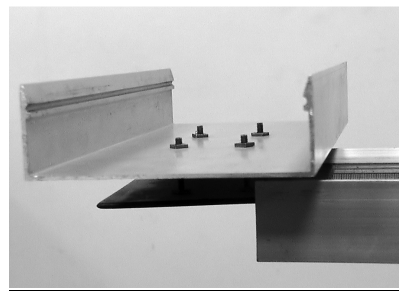
- Οι δύο μεταλλικοί οδηγοί διατομής σχήματος ανάποδου “Π”, οι οποίοι χαρακτηρίζονται σαν Μεγάλος (μήκους ~70 cm) και Μικρός (~30 cm), χρησιμεύουν στο να ευθυγραμμίζουν τα κουτιά σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε φάσης της άσκησης, έτσι ώστε τα μέτωπα κύματος να προσπίπτουν κάθετα στον Δέκτη ή τον Ανιχνευτή.

- Επιπλέον, ο Μεγάλος Οδηγός φέρει στο εσωτερικό του μία μετροταινία, η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό της θέσης του κάθε κουτιού. Η ανάγνωση της μετροταινίας πρέπει να γίνεται κάθετα προς το επίπεδο της μετροταινίας και παράλληλα προς την ακμή της μεταλλικής πλάκας, όπως στην Εικόνα 6 (δεξιά).



Εικόνα 6: Ανάγνωση θέσης με την βοήθεια της μετροταινίας του μεγάλου οδηγού.

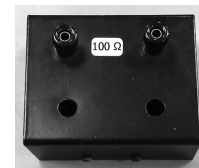
- Ο Μικρός Οδηγός τοποθετείται κάθετα μέσα στον Μεγάλο Οδηγό και επιτρέπει την παράλληλη ολίσθηση μέσα σε αυτόν του ενιαίου συστήματος Πομπού – Δέκτη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται τα δύο όργανα να ολισθαίνουν επάνω σε μία ευθεία κάθετη προς έναν Στόχο, και συγχρόνως να ισαπέχουν από αυτόν. Στο σχήμα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ο Μικρός Οδηγός εισέρχεται στον Μεγάλο Οδηγό. Προφανώς η ανάγνωση της θέσης του Μικρού Οδηγού γίνεται και αυτή κάθετα προς την μετροταινία.



Εικόνα 7: Εισαγωγή του μικρού οδηγού μέσα στον μεγάλο.

Επίσης θα χρησιμοποιήσετε:

- Έναν Παλμογράφο και μία Γεννήτρια Συχνοτήτων, τα οποία είναι τα ίδια όργανα που χρησιμοποιήσατε στην Άσκηση του Παλμογράφου.
- Καλώδια ομοαξονικά (με βύσμα τύπου BNC) και απλά (με μπανάνες). Στην άσκηση η **πολικότητα των συνδέσεων έχει σημασία**, και για αυτό να προσέχετε οι ακροδέκτες γείωσης του παλμογράφου ή της γεννήτριας να συνδέονται σύμφωνα με τις οδηγίες.
- Μία αντίσταση 100 Ω όπως αυτή της διπλανής εικόνας.



6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η άσκηση χωρίζεται σε τέσσερα μέρη:

- Μέρος 1:** Εξοικείωση με τα όργανα της διάταξης υπερήχων. Στο μέρος αυτό θα αναγνωρίσετε τα μέρη της διάταξης, θα παράγετε υπέρηχους και θα τους ανιχνεύσετε με την βοήθεια του Παλμογράφου.
- Μέρος 2:** Παρατήρηση και καταγραφή της καμπύλης συντονισμού του Ανιχνευτή. Κύριος στόχος είναι να παρατηρήσετε και να καταγράψετε την καμπύλη συντονισμού του Ανιχνευτή, και να προσδιορίσετε τον παράγοντα ποιότητας.
- Μέρος 3:** Προσδιορισμός του μήκους κύματος των υπερήχων. Κύριος στόχος είναι να μετρήσετε το μήκος κύματος με δύο διαφορετικές μεθόδους, με οδεύοντα και με στάσιμα κύματα.
- Μέρος 4:** Κατασκευή και μελέτη διάταξης Σόναρ (Sonar) για την μέτρηση αποστάσεων. Κύριος στόχος είναι να παρατηρήσετε πειραματικά την αρχή λειτουργίας του Σόναρ, και να εξοικειωθείτε με την έννοια του κυματοδέματος.

6.1. ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Αναγνωρίστε τα όργανα που βλέπετε στην θέση εργασίας σας, και συγκεκριμένα:

- τον Πομπό, τον Μετασχηματιστή Τροφοδοσίας και τον Δέκτη που είναι συνδεδεμένος με αυτόν.
- τον Ανιχνευτή.
- την Γεννήτρια Συχνοτήτων.
- τον Παλμογράφο.
- την αντίσταση 100 Ω.
- τα καλώδια μέσα στο συρτάρι του πάγκου εργασίας σας.

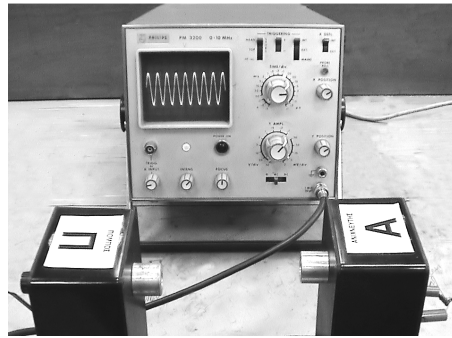
Δραστηριότητα 1:

- Συνδέστε τον Ανιχνευτή με τον Παλμογράφο χρησιμοποιώντας ένα ομοαξονικό καλώδιο.
- Ανάψτε τον παλμογράφο και ρυθμίστε τον στα **2 mV/div** και **0.5 ms/div**. Τοποθετείστε τον διακόπτη **DC/AC** στην θέση **DC**.
- Φυσήξτε ελαφρά από απόσταση ~10 cm επάνω στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Τι παρατηρείτε στην οθόνη του Παλμογράφου; Ερμηνεύστε την συμπεριφορά της δέσμης.
- Τοποθετείστε την βάση χρόνου στα **2 ms/div**. Χτυπήστε **ελαφρά** το κουτί του Ανιχνευτή με το δάχτυλό σας ή το στυλό σας. Τι παρατηρείτε στον παλμογράφο; Μετρήστε προσεγγιστικά το πλάτος του σήματος V_{pp} το οποίο βλέπετε.
- Αν προσπαθήσετε να χρησιμοποιήσετε τον Ανιχνευτή σαν μικρόφωνο, δεν θα μπορέσετε να δείτε στον παλμογράφο την κυματομορφή της ομιλίας σας, γιατί η παραγόμενη τάση έχει πολύ μικρό πλάτος. Όπως θα δούμε στην συνέχεια της άσκησης (Μέρος 6.2), το πλάτος είναι μικρό γιατί η συχνότητα της ανθρώπινης φωνής (~1 KHz) βρίσκεται πολύ μακριά από την συχνότητα συντονισμού του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου του Ανιχνευτή. Αν όμως ο Παλμογράφος διέθετε μία ακόμα πιο ευαίσθητη κλίμακα (π.χ. 0.1 mV/div), ή με την βοήθεια ενός κατάλληλου ενισχυτή, τότε θα μπορούσατε εύκολα να

παρατηρήσετε την κυματομορφή που αντιστοιχεί στους θορύβους που επικρατούν στην αίθουσα.

Δραστηριότητα 2:

- Αφήστε τον Ανιχνευτή συνδεδεμένο με τον παλμογράφο. Συνδέστε το τροφοδοτικό του Πομπού στο δίκτυο τροφοδοσίας (το κόκκινο λαμπάκι του τροφοδοτικού πρέπει να ανάβει). Τοποθετήστε τον διακόπτη επιλογής κυματομορφής στην θέση **H**, για παραγωγή ημιτονικού κύματος και τον διακόπτη επιλογής λειτουργίας στην θέση **Σ** για συνεχές κύμα. Ο Πομπός αυτή τη στιγμή εκπέμπει υπερήχους, τους οποίους όμως δεν μπορείτε να ακούσετε.
- Τοποθετείστε τον Ανιχνευτή απέναντι από τον Πομπό, σε απόσταση περίπου όση το μήκος του μεγάλου οδηγού (δεν είναι ανάγκη να τοποθετήσετε τον **A** και τον **Π** μέσα στον οδηγό στην φάση αυτή της άσκησης).
- Γνωρίζοντας ότι ο Πομπός παράγει υπέρηχους συχνότητας περίπου $f = 40 \text{ kHz}$, υπολογίστε την αναμενόμενη περίοδο της κυματομορφής και ρυθμίστε κατάλληλα την βάση χρόνου στον Παλμογράφο ώστε να μπορείτε να την δείτε.
- Ρυθμίζοντας την είσοδο του παλμογράφου **AC/DC** στη θέση **AC** θα πρέπει να δείτε στον Παλμογράφο μια κυματομορφή όπως αυτή της Εικόνας 8.

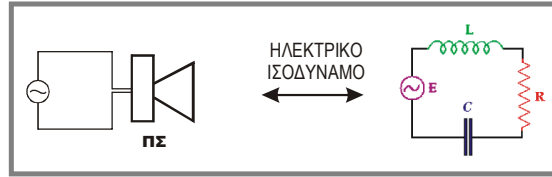


Εικόνα 8: Διάταξη παρατήρησης υπερήχων.

- Περιστρέψτε σε διάφορες θέσεις το κουμπί **tune** στον Πομπό. Τι παρατηρείτε στον παλμογράφο; Ερμηνεύσατε τις παρατηρήσεις σας.
- Ρυθμίστε το κουμπί **tune** στον Πομπό ώστε να προκύψει μέγιστο πλάτος σήματος στον παλμογράφο. Αυτή είναι και η κανονική θέση λειτουργίας του Πομπού. Η ρύθμιση αυτή πρέπει να γίνεται κάθε φορά που χρησιμοποιείτε τον Πομπό.
- Δοκιμάστε να αυξήσετε ή να ελαττώσετε την απόσταση Πομπού – Ανιχνευτή. Τι παρατηρείτε στην οθόνη του Παλμογράφου;
- Διατηρώντας σταθερή την απόσταση Π–Α, δοκιμάστε να περιστρέψετε τον Ανιχνευτή γύρω από τον Πομπό σε περιφέρεια κύκλου σταθερής ακτίνας, με τρόπο ώστε ο ανιχνευτής να βλέπει σταθερά το κέντρο του κύκλου. Τι παρατηρείτε στην οθόνη του Παλμογράφου; Τι συμπεράσματα μπορείτε να βγάλετε για τις κυματικές ιδιότητες των υπερήχων;

6.2. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ

Όταν ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο (ΠΣ) διεγερθεί από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης τότε αυτό συμπεριφέρεται σαν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα RLC (βλ. Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Το ηλεκτρικό ανάλογο του Πομπού υπερήχων.

Το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο δηλαδή ισοδυναμεί με έναν ηλεκτρικό ταλαντωτή, και άρα έχει μία ιδιοσυχνότητα. (Στην πραγματικότητα υπάρχουν περισσότερες συχνότητες συντονισμού, διότι πρόκειται για έναν τρισδιάστατο ταλαντωτή). Στο κύκλωμα RLC του σχήματος, η ιδιοσυχνότητα θα είναι $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ διότι $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

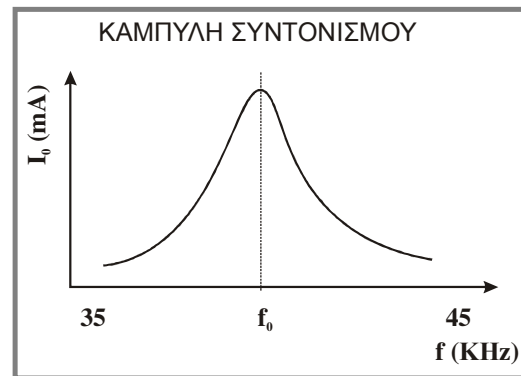
$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{διότι} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Όταν η γεννήτρια παράγει συχνότητες πολύ μικρότερες ή πολύ μεγαλύτερες από την f_0 , τότε το πλάτος της ταλάντωσης του ΠΣ είναι πολύ μικρό. Όταν η συχνότητα της γεννήτριας πλησιάσει την ιδιοσυχνότητα του ΠΣ, τότε ενεργοποιείται το φαινόμενο του συντονισμού: το ΠΣ αρχίζει να απορροφά πολύ περισσότερη ενέργεια από την γεννήτρια, και το πλάτος της ταλάντωσης, και άρα η ένταση του παραγόμενου υπερήχου, αυξάνεται δραματικά. Το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης του ΠΣ συμβαίνει όταν η παραγόμενη από την γεννήτρια συχνότητα γίνει ακριβώς ίση με την ιδιοσυχνότητα του ΠΣ. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιοδήποτε ταλαντωτή, μηχανικό (σώμα-ελατήριο), ηλεκτρικό (κύκλωμα RLC), ηλεκτρομηχανικό (δυναμικό μεγάφωνο), είτε σε μακροσκοπική κλίμακα (π.χ. γέφυρα Tacoma) είτε σε μικροσκοπική (συντονισμός των μορίων της ύλης).

Το φαινόμενο του συντονισμού στην περίπτωση του Ανιχνευτή (αλλά και του Πομπού και του Δέκτη) περιγράφεται με μία καμπύλη συντονισμού, όπως ακριβώς και στην περίπτωση του ηλεκτρικού ταλαντωτή με κύκλωμα RLC.

Στα ηλεκτρικά κυκλώματα η καμπύλη συντονισμού είναι πάντοτε μία καμπύλη ρεύματος συναρτήσεως της συχνότητας (βλ. διπλανό Σχήμα 6).

Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται μία εξιδανικευμένη καμπύλη συντονισμού για τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην άσκηση. Για την ακρίβεια, το σχήμα περιγράφει την κύρια συχνότητα συντονισμού, γιατί το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο σαν τρισδιάστατος ταλαντωτής έχει περισσότερες συχνότητες συντονισμού, οι οποίες όμως δεν μας ενδιαφέρουν στην άσκηση.



Σχήμα 6: Εξιδανικευμένη καμπύλη συντονισμού του Ανιχνευτή.

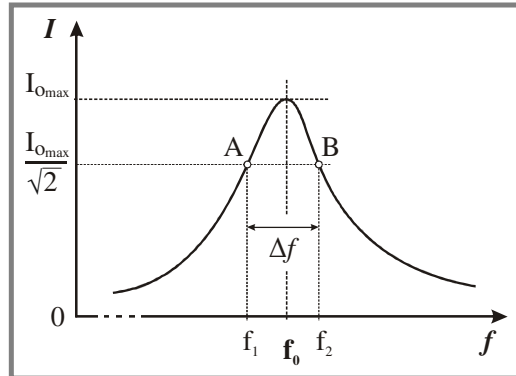
- 🔗 Παρατηρείστε στο παραπάνω Σχήμα 6 τον τρόπο με τον οποίο μειώνεται το ρεύμα όταν απομακρυνόμαστε από την ιδιοσυχνότητα του ΠΣ. Αν συνδέσετε τον Ανιχνευτή με την έξοδο ηχείων ενός στερεοφωνικού, τι ένταση ήχου περιμένετε να ακούσετε; Αν συνδέσετε τον Ανιχνευτή με τον Παλμογράφο στην πιο ευαίσθητη κλίμακα τάσεων, και μιλήσετε κοντά στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο τι περιμένετε να δείτε στην οθόνη του Παλμογράφου;

Για την περιγραφή του φαινομένου του συντονισμού χρησιμοποιούνται δύο βασικά μεγέθη: η συχνότητα συντονισμού (ιδιοσυχνότητα) f_0 και ο **παράγοντας ποιότητας** Q . Ο παράγοντας ποιότητας Q αποτελεί ένα μέτρο της απώλειας ενέργειας του ταλαντωτή πάνω στην ωμική αντίσταση R . Όσο μικρότερη είναι η R , τόσο μεγαλύτερος είναι ο Q , δηλαδή έχουμε **οξύτερο συντονισμό**.

Ο παράγοντας Q μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια δύο σημείων Α και Β της καμπύλης συντονισμού για τα οποία η ενέργεια του ταλαντωτή μειώνεται στο μισό ($1/2$) (βλ. διπλανό Σχήμα 7). Αν f_1 και f_2 είναι οι αντίστοιχες συχνότητες, τότε προκύπτει ότι:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (4)$$

Επειδή στα ηλεκτρικά κυκλώματα η ενέργεια υπό σταθερό πλάτος τάσης είναι ανάλογη του I_0^2 , όπου I_0 είναι το πλάτος του ρεύματος, μείωση της ενέργειας στο $1/2$ της αρχικής σημαίνει πτώση του ρεύματος $I_{0\max}$ στο $1/\sqrt{2}$. Επειδή $1/\sqrt{2} = 0.707$, πρακτικά τα σημεία Α και Β είναι αυτά για τα οποία το ρεύμα μειώνεται στο 70% του μέγιστου ρεύματος $I_{0\max}$ κατά το συντονισμό.

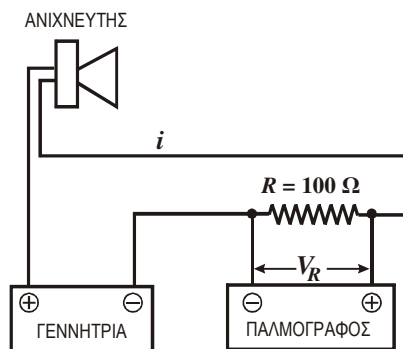


Σχήμα 7: Προσδιορισμός του παράγοντα ποιότητας Q .

Στο μέρος αυτό της άσκησης θα προσδιορίσουμε και την ιδιοσυχνότητα και τον παράγοντα ποιότητας του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου πειραματικά.

Πειραματική διαδικασία:

- Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 8, προσέχοντας την πολικότητα.
- Παρατηρήστε ότι η γεννήτρια, ο ανιχνευτής και η αντίσταση R είναι συνδεδεμένα σε σειρά.
- Ο παλμογράφος είναι συνδεδεμένος παράλληλα με την αντίσταση R και άρα μετράει την πτώση τάσης V_R πάνω σε αυτήν, η οποία προφανώς είναι ανάλογη προς το ρεύμα i το οποίο διαρρέει το κύκλωμα. Εξάλλου αυτή η συνδεσμολογία είναι η καταλληλότερη για την μέτρηση ρεύματος με ένα όργανο που μετρά μόνο τάση, όπως είναι ο παλμογράφος. Υπενθυμίζουμε ότι σκοπός μας είναι να καταγράψουμε την καμπύλη συντονισμού, η οποία είναι μια καμπύλη ρεύματος - συχνότητας.



Σχήμα 8: Κύκλωμα για τον προσδιορισμό της καμπύλης συντονισμού.

- Επιλέξτε πλάτος σήματος από την γεννήτρια $V = 1 \text{ Volt}$, και μετρήστε το πλάτος της V_R για διάφορες συχνότητες της γεννήτριας σύμφωνα με τον Πίνακα I της επόμενης σελίδας.

Η τελευταία στήλη του Πίνακα περιλαμβάνει τις τιμές έντασης, οι οποίες υπολογίζονται με τη βοήθεια της σχέσης $I = V_R/R$.

Την 15^η σειρά θα την συμπληρώσετε παρατηρώντας το πλάτος του σήματος στον παλμογράφο ενώ μεταβάλλετε με μικρά βήματα την συχνότητα, ώστε να βρείτε με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια την συχνότητα για την οποία έχετε το μεγαλύτερο πλάτος. Αυτήν θα θεωρήσετε και σαν συχνότητα συντονισμού για να την χρησιμοποιήσετε στην συνέχεια. Επίσης την αντίστοιχη τιμή του ρεύματος I_o θα την θεωρήσετε σαν το ρεύμα συντονισμού για τον προσδιορισμό του παράγοντα ποιότητας Q .

Πίνακας I: Μετρήσεις για την καμπύλη συντονισμού του Ανιχνευτή.

a/a	Συχνότητα γεννήτριας f (KHz)	Ευαισθησία παλμογράφου $Volt/div$	Πλάτος ίχνους Παλμογράφου k_y	Πτώση τάσης στην R V_R (mV)	Ρεύμα κυκλώματος i (mA)
1	35.0				
2	37.0				
3	38.0				
4	38.5				
5	39.0				
6	39.5				
7	40.0				
8	40.2				
9	40.4				
10	40.6				
11	40.8				
12	41.0				
13	41.5				
14	42.0				
15	$f_o =$				$I_o =$

Για την εργασία:

1. Κατασκευάστε το διάγραμμα της καμπύλης συντονισμού ($I-f$) σε χαρτί mm και τοποθετήστε τις ακριβείς τιμές I_o και f_o που βρήκατε. Σχολιάστε το διάγραμμα.
2. Να προσδιορίσετε τον παράγοντα ποιότητας Q του ταλαντωτή.
3. Πώς μεταβάλλεται η καμπύλη συντονισμού αν αυξήσετε το πλάτος της τάσης από την γεννήτρια; Στην περίπτωση αυτή περιμένετε να μεταβληθεί ο παράγοντας ποιότητας Q ;

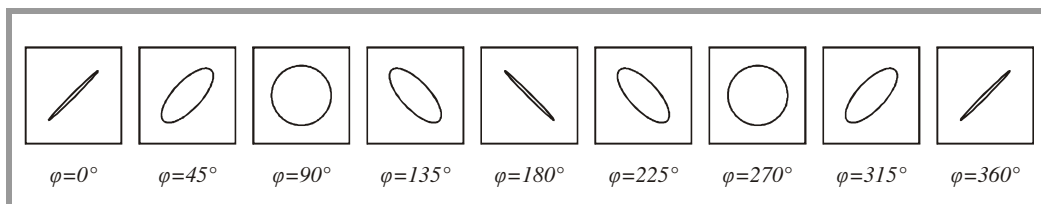
6.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΛΕΥΟΝ ΚΥΜΑ ΜΕ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΗΣ

Πειραματική διαδικασία:

Στο πείραμα αυτό συνδέουμε στις εισόδους X και Y του παλμογράφου το σήμα της εσωτερικής γεννήτριας που οδηγεί τον Πομπό και το σήμα του Ανιχνευτή στην είσοδο Y. Με την συνδεσμολογία αυτή μπορούμε να διαπιστώσουμε αν τα δύο αυτά σήματα είναι σε φάση ή όχι. Πράγματι, αν τα δύο σήματα έχουν την ίδια φάση, π.χ. $V_X = A \eta\mu(\omega t)$ και $V_Y = B \eta\mu(\omega t)$, στον παλμογράφο περιμένουμε να δούμε ένα ευθύγραμμο τμήμα. (Γιατί συμβαίνει αυτό;)

- Τοποθετήστε τον Πομπό και τον Ανιχνευτή μέσα στον Μεγάλο Οδηγό, έτσι ώστε να απέχουν περίπου 30 cm.

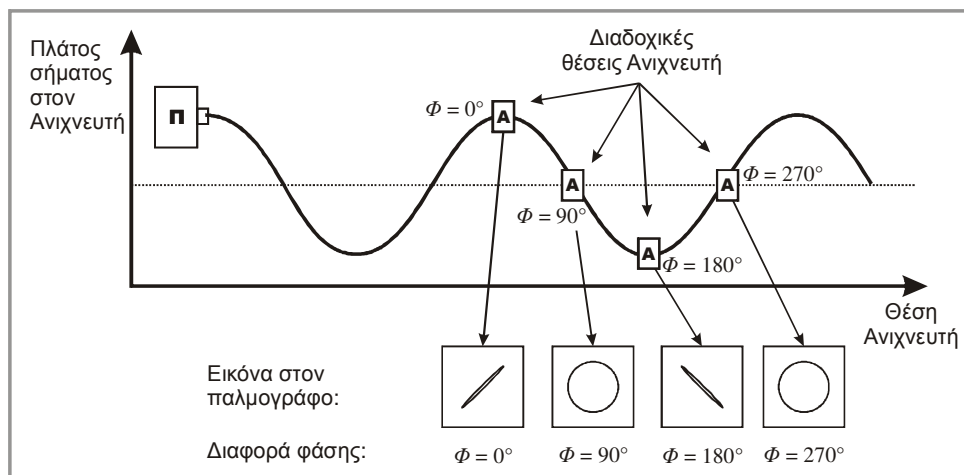
- Συνδέστε τον Πομπό στην είσοδο I (INPUT CHI) και τον Ανιχνευτή στην είσοδο II (INPUT CHII) του παλμογράφου.
- Ρυθμίστε την συχνότητα του Πομπού με το κουμπί **tune** ώστε να πετύχετε μέγιστο πλάτος στην οθόνη του.
- Έχοντας τον διακόπτη **X-Y** του παλμογράφου πατημένο, ρυθμίστε την συχνότητα του Πομπού με το κουμπί **tune** ώστε να πετύχετε μέγιστο πλάτος στην οθόνη του.
- Ρυθμίστε την ενίσχυση των εισόδων I και II (Volts/div) του παλμογράφου έτσι ώστε στην οθόνη του να δείτε ολόκληρο έναν κύκλο ή μία έλλειψη.
- Διατηρείστε σταθερή την θέση του Πομπού και μετακινήστε αργά-αργά τον Ανιχνευτή κατά λίγα χιλιοστά κάθε φορά. Θα παρατηρήσετε ότι το σχήμα που παίρνετε στον οθόνη του παλμογράφου περνάει από τα εξής διαδοχικά στιγμιότυπα:



Σχήμα 9: Τα διαδοχικά στιγμιότυπα στην οθόνη του παλμογράφου κατά την σταδιακή μετακίνηση του Δέκτη μέσα στον οδηγό. (Εικόνες Lissajous, εξαιτίας της καθετότητας των σημάτων X και Y με ίσα πλάτη).

Στο Σχήμα 9, το στιγμιότυπο $\varphi = 0^\circ$ αντιστοιχεί σε διαφορά φάσης μεταξύ των εισόδων X και Y του παλμογράφου $\Phi = 0^\circ$ ή $\Phi = (2\nu)\pi$, ενώ το $\varphi = 180^\circ$ σε $\Phi = \pi$ ή $\Phi = (2\nu+1)\pi$. Συνεπώς, αν μετακινήσετε τον Ανιχνευτή ώστε από στιγμιότυπο $\varphi = 0^\circ$ να φτάσετε στο επόμενο $\varphi = 360^\circ$, θα έχει παρέλθει φάση $\Phi = 2\pi$. **Η μετατόπιση αυτή του Ανιχνευτή ισούται εξ ορισμού με ένα μήκος κύματος λ .**

Αναλυτικά, η αντιστοιχία μεταξύ θέσεων Ανιχνευτή και διαφοράς φάσης, φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Η μορφή σήματος στον Παλμογράφο σε σχέση με τις διαδοχικές θέσεις του Ανιχνευτή μέσα στον οδηγό.

Σκοπός του πειράματος είναι να προσδιορίσουμε μερικές διαδοχικές θέσεις τύπου Α ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος με περισσότερη ακρίβεια.

- Μετακινείτε τον Ανιχνευτή σε μία θέση ώστε η εικόνα στον παλμογράφο να βρίσκεται σε στιγμιότυπο τύπου $\varphi = 0^\circ$. Σημειώστε την θέση του Ανιχνευτή x_A στην πρώτη γραμμή του Πίνακα II. Σαν x_A θα θεωρήσετε την ένδειξη που διαβάζετε επάνω στην μετροταινία η οποία βρίσκεται μέσα στον οδηγό. Επίσης σημειώστε την θέση του Πομπού x_{II} . Η απόσταση Πομπού – Ανιχνευτή προφανώς είναι $s_{IIA} = x_A - x_{II}$ (εφόσον $x_A > x_{II}$).
- Μετακινείτε αργά και προσεκτικά τον Ανιχνευτή ώστε η εικόνα στον παλμογράφο να περάσει από διαδοχικά στιγμιότυπα τύπου $\varphi = 0^\circ$ και σημειώστε τις θέσεις αυτές στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας II: Μετρήσεις για την εύρεση του μήκους κύματος.

a/a	N επίτευξης $\varphi = 0^\circ$	Θέση ανιχνευτή $x_{A,N}$ (cm)	Απόσταση Π-Α s_{IIA} (cm)	Τιμές λ_i του μ. κύματος $x_{A,N} - x_{A,N-1}$ (cm)
0	1			
1	2			
2	3			
3	4			
4	5			
5	6			
6	7			
7	8			
8	9			
9	10			
10	11			

Η τελευταία στήλη περιέχει τιμές του μήκους κύματος, οι οποίες προκύπτουν από την μετατόπιση του ανιχνευτή κάθε φορά, και υπολογίζονται αφαιρώντας την τρέχουσα θέση του Ανιχνευτή $x_{A,N}$ από την προηγούμενη θέση του $x_{A,N-1}$. Προφανώς, οι τιμές της στήλης αυτής αντιπροσωπεύουν προσεγγίσεις του ίδιου ζητούμενου μήκους κύματος, το οποίο και θα υπολογίσουμε στην εργασία με τρεις τρόπους.

- Αφού συμπληρώσετε τον Πίνακα II, επιβεβαιώστε τις μετρήσεις σας: ξαναγυρίστε τον Ανιχνευτή στην αρχική του θέση $x_{A,0}$ και μετακινείτε τον κατά 10 διαδοχικές θέσεις στιγμιότυπου Α (χωρίς να παίρνετε ενδιάμεσα μετρήσεις). Καταλήγεται στην ίδια τελική θέση του Ανιχνευτή $x_{A,10}$, δηλαδή την θέση της 10^{th} γραμμής του Πίνακα;

Για την εργασία:

Τις μετρήσεις σας μπορείτε να τις επεξεργαστείτε με τρεις διαφορετικούς τρόπους με σκοπό να υπολογίσετε το ζητούμενο μήκος κύματος:

1. Με ευθεία ελαχίστων τετραγώνων:

Κατασκευάστε το γράφημα του s_{IIA} συναρτήσεως του N . Προφανώς είναι $s_{IIA} = \lambda N + \beta$, όπου λ το ζητούμενο μήκος κύματος και β η αρχική απόσταση Πομπού – Ανιχνευτή.

Εφαρμόστε Θεωρία Ελαχίστων Τετραγώνων στην ευθεία αυτή και υπολογίστε το λ . Επίσης σχολιάστε την τιμή του β που υπολογίσατε.

2. Θεωρώντας τις 10 διαδοχικές θέσεις σαν 10 ανεξάρτητα πειράματα:

Υπολογίστε το λ σαν τον μέσο όρο των τιμών της τελευταίας στήλης του Πίνακα II και εκφράστε το αποτέλεσμα σαν $\lambda \pm \sigma_\lambda$ όπου σ_λ είναι η τυπική απόκλιση στον μέσο όρο.

3. Θεωρώντας εξ αρχής ότι οι διαδοχικές 10 θέσεις εκφράζουν το ίδιο μήκος κύματος λ :

Κατά τον ίδιο τρόπο που θα υπολογίζετε το πάχος της σελίδας ενός βιβλίου σαν (πάχος N σελίδων)/ N ή θα μετρούσατε την περίοδο ενός εκκρεμούς σαν (χρόνος N αιωρήσεων)/ N , υπολογίστε το λ σαν (απόσταση ισοδύναμη με 10 μήκη κύματος)/10, χρησιμοποιώντας δηλαδή μόνο τις τιμές $x_{N,0}$ και $x_{N,10}$ από τις σειρές 1 και 10 του Πίνακα (εφόσον φυσικά όλες σας οι τιμές $x_{A,N}$ αντιστοιχούν σε συνεχόμενες θέσεις $\Phi=(2ν)\pi$ και δεν έχετε παραλείψει καμία από αυτές). Εκφράστε το αποτέλεσμα σαν $\lambda \pm \sigma_\lambda$

4. Συγκρίνατε τις τιμές του λ που βρήκατε παραπάνω. Ποια θεωρείτε ότι είναι η πιο ακριβής και γιατί; Για την ακριβέστερη μέθοδο που επιλέξατε, κάντε μια εκτίμηση της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό του μήκους κύματος και εκφράστε το τελικό αποτέλεσμα σαν $\lambda \pm \sigma_\lambda$

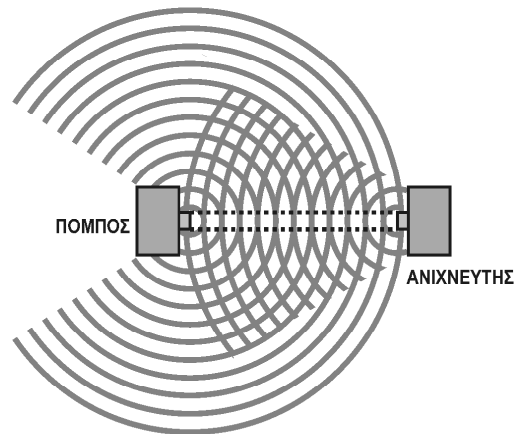
6.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΜΒΑΛΛΟΝΤΑ ΚΥΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

Στο πείραμα αυτό θα μετρήσουμε το μήκος κύματος με την βοήθεια του φαινομένου της συμβολής. Αντί να χρησιμοποιήσουμε δύο πηγές, αξιοποιούμε το φαινόμενο της συμβολής του κύματος που εκπέμπεται από έναν Πομπό και του κύματος που οπισθοανακλάται από ένα εμπόδιο. Σαν εμπόδιο θα χρησιμοποιήσουμε την πρόσοψη του κουτιού του Ανιχνευτή, ο οποίος συγχρόνως θα μας επιτρέπει να βλέπουμε στον παλμογράφο το πλάτος του συνιστάμενου κύματος.

Η θεωρητική προσέγγιση της διάταξης του Σχήματος 11, επειδή συμβαίνουν συγχρόνως φαινόμενα ανάκλασης, περίθλασης και συμβολής των κυμάτων, είναι ιδιαίτερα περίπλοκη.

Για τις ανάγκες της άσκησης θεωρούμε ότι: α) το κύμα που εκπέμπεται από τον πομπό είναι περίπου σφαιρικό (ανακριβές διότι η πηγή δεν είναι σημειακή) β) το κύμα ανακλάται μόνο μία φορά από τον ανιχνευτή (ανακριβές διότι το ανακλώμενο από τον Ανιχνευτή κύμα ανακλάται στη συνέχεια από την πρόσοψη του Δέκτη κ.ο.κ.).

Επιπλέον, θα περιοριστούμε σε μετρήσεις μόνο στην στενή περιοχή ανάμεσα στις δύο στικτές γραμμές του Σχήματος 11, στην οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα μέτωπα κύματος είναι περίπου επίπεδα.



Σχήμα 11: Το προσπίπτον και το ανακλώμενο από την πρόσοψη του Ανιχνευτή κύμα συμβάλλουν στον μεταξύ τους χώρο.

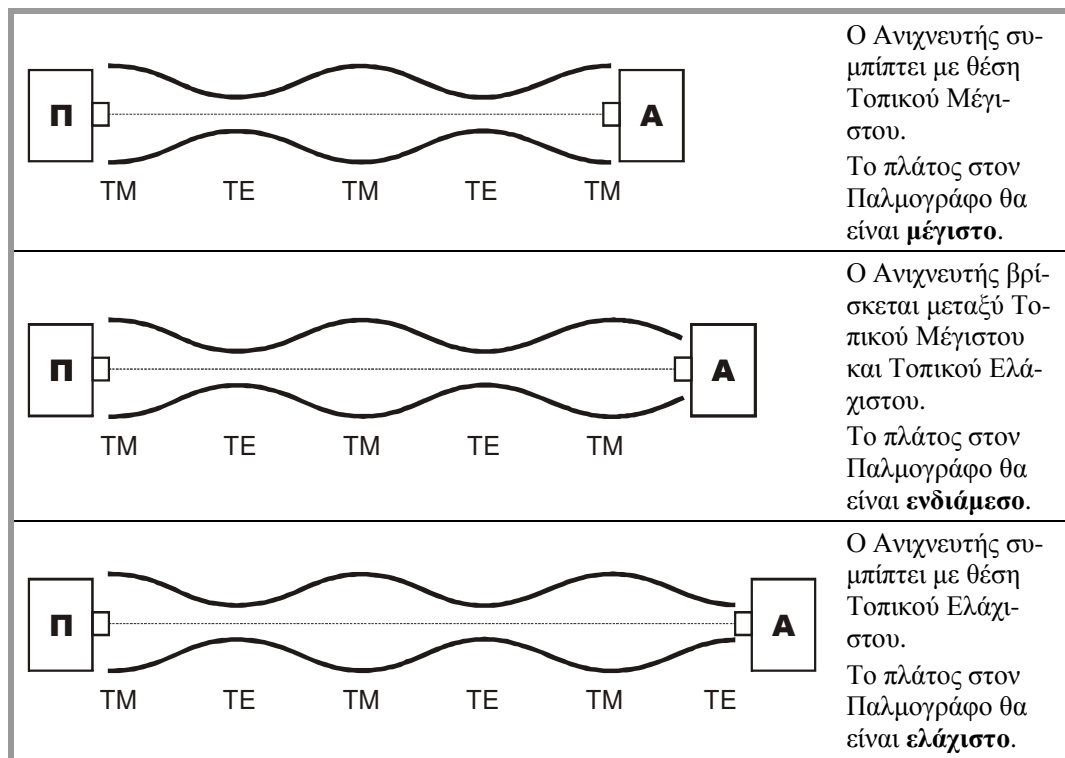
Στην στενή αυτή περιοχή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχουμε μονοδιάστατα κύματα, και ότι συμβαίνει επαλληλία δύο κυμάτων με διαφορετικά πλάτη A και B (τα οποία στην πραγματικό-

τητα δεν παραμένουν σταθερά κατά μήκος της περιοχής που μελετάμε). Με όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις, μπορεί να αποδειχθεί ότι το προκύπτον κύμα έχει την μορφή ενός αθροίσματος δύο όρων, και συγκεκριμένα $\psi = 2A\eta\mu kx \sin\omega t + (B - A)\eta\mu(kx - \omega t)$.

Ο πρώτος όρος εκφράζει το γνωστό στάσιμο κύμα και ο δεύτερος ένα οδεύον κύμα. Συνολικά λοιπόν, το κύμα ψ είναι οδεύον και για το λόγο αυτό το ελάχιστο πλάτος δεν παρατηρείται συγχρόνως στις ίδιες θέσεις x για κάθε χρονική στιγμή t , όπως συμβαίνει στο στάσιμο κύμα. Παρατηρούμε ότι στην ειδική περίπτωση όπου $A = B$, ο δεύτερος όρος της παραπάνω σχέσης μηδενίζεται και προκύπτει η κλασική σχέση για το στάσιμο κύμα.

Από την παραπάνω σχέση επίσης προκύπτει ότι το πλάτος της ταλάντωσης κατά μήκος της στενής περιοχής ανάμεσα στις δύο στικτές γραμμές την οποία μελετάμε, δεν μηδενίζεται σε καμία θέση x , αλλά κυμαίνεται περιοδικά από θέσεις σχετικού **τοπικού μέγιστου** σε θέσεις σχετικού **τοπικού ελάχιστου**, οι οποίες στην συγκεκριμένη μας διάταξη αντιστοιχούν σε θέσεις δεσμών και κοιλιών εάν είχαμε μόνο στάσιμο κύμα.

Προφανώς στην θέση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου του Πομπού αντιστοιχεί τοπικό μέγιστο πλάτους ταλάντωσης. Στο παρακάτω Σχήμα 12 βλέπετε τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται το πλάτος στον χώρο ανάμεσα στον Πομπό και τον Ανιχνευτή, καθώς και το αναμενόμενο σήμα στον Ανιχνευτή για τρεις διαφορετικές θέσεις:



Σχήμα 12: Εξάρτηση του πλάτους του σήματος στον Παλμογράφο συναρτήσει της θέσης του σε σχέση με τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα του συνιστάμενου κύματος.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 12 (και στο Σχ. 3), η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων του ανιχνευτή με μέγιστο (ή ελάχιστο) πλάτος είναι $\lambda/2$, διότι ένα πλήρες μήκος κύματος περιλαμβάνει δύο τοπικά μέγιστα και δύο τοπικά ελάχιστα του συνιστάμενου κύματος.

Πειραματική διαδικασία:

- Τοποθετήστε τον Πομπό και τον Ανιχνευτή μέσα στον Οδηγό, έτσι ώστε να απέχουν περίπου 10 cm και συνδέστε τον Ανιχνευτή με την είσοδο Υ του παλμογράφου. Στον παλμογράφο πρέπει να βλέπετε ένα ημιτονικό σήμα.
- Ρυθμίστε την συχνότητα του Πομπού με το κουμπί tune ώστε να πετύχετε μέγιστο πλάτος στην οθόνη του παλμογράφου.
- Μετακινώντας αργά τον Ανιχνευτή κατά λίγα mm κάθε φορά παρατηρήστε ότι το πλάτος του σήματος στον παλμογράφο περνάει από διαδοχικές φάσεις μέγιστου και ελάχιστου πλάτους.
- Τοποθετείστε τον Ανιχνευτή σε μία θέση τοπικού μεγίστου και σημειώστε την θέση του x_A (την ένδειξη στην μετροταινία μέσα στον οδηγό) στην πρώτη γραμμή του Πίνακα III. Επίσης σημειώστε την θέση του Πομπού x_{II} . Η απόσταση Πομπού – Ανιχνευτή προφανώς είναι $s_{IIA} = x_A - x_{II}$ (εφόσον $x_A > x_{II}$).
- Μετακινείτε αργά και προσεκτικά τον ανιχνευτή ώστε να παίρνετε διαδοχικά μέγιστα πλάτους και σημειώστε τις θέσεις αυτές στον Πίνακα III.

Πίνακας III: Μετρήσεις για την εύρεση του μήκους κύματος.

a/a	N επίτευξης μεγ. πλάτους	Θέση ανιχνευτή $x_{A,N}$ (cm)	Απόσταση $x_{5\lambda}$ $10 \times \lambda/2$ (cm)
0	0		
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		
9	9		
10	10		

Για την εργασία

1. Υπολογίστε το μήκος κύματος θεωρώντας εξ αρχής ότι οι έντεκα διαδοχικές θέσεις αντιστοιχούν στη ίδια τιμή του $\lambda/2$, δηλαδή χρησιμοποιείτε μόνο την πρώτη και την τελευταία σειρά του πίνακα. Οι δύο αυτές θέσεις αντιστοιχούν σε μετατόπιση ίση με 10 ημι-μήκη κύματος, δηλαδή 5 μήκη κύματος λ . Κάντε μια εκτίμηση της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό του μήκους κύματος και εκφράστε το τελικό αποτέλεσμα σαν $\lambda \pm \sigma_\lambda$
2. Συγκρίνατε την τιμή του λ με αυτήν που προέκυψε από το προηγούμενο πείραμα.

6.4. ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΟΝΑΡ (SONAR)

Γνωρίζουμε ότι πολλά ζώα, όπως οι φάλαινες, τα ψάρια ή οι νυχτερίδες, χρησιμοποιούν ήχους και υπέρηχους για να εκτιμήσουν την απόσταση από ένα εμπόδιο.

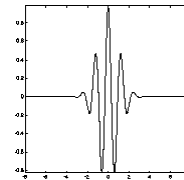
Γνωρίζουμε επίσης ότι με την βοήθεια του ήχου μπορούμε να εκτιμήσουμε το βάθος ενός πηγαδιού, ή την απόσταση μιας καταιγίδας, απλά μετρώντας τον χρόνο που απαιτείται ώστε ο ήχος που προκαλεί η πτώση ενός αντικειμένου στον πάτο του πηγαδιού να φθάσει σε μας, ή τον χρόνο που απαιτείται για να φθάσει ο ήχος της βροντής μετά από μία αστραπή.

Γνωστό τέλος είναι ότι με βάση το φαινόμενο της ηχούς επίσης μπορούμε να εκτιμήσουμε το πόσο απέχει ένας τοίχος ή ένα βουνό, απλά μετρώντας τον χρόνο που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή ενός ήχου (π.χ. παλαμάκια) και την λήψη του ανακλώμενου από το εμπόδιο ήχου.

Το Σόναρ (sonar) αποτελεί μια εφαρμογή της παραπάνω αρχής για την μέτρηση αποστάσεων. Η λέξη SONAR αποτελείται από τα αρχικά των λέξεων “SOund Navigation And Ranging”. Το Σόναρ είναι μία διάταξη παρόμοια με αυτή των ραντάρ και χρησιμεύει για τον εντοπισμό και την μέτρηση της απόστασης απομακρυσμένων αντικειμένων. Η διαφορά μεταξύ του Σόναρ και του Ραντάρ είναι ότι το πρώτο χρησιμοποιεί ηχητικά κύματα, ενώ το δεύτερο ηλεκτρομαγνητικά.

Είναι προφανές ότι για μια πρακτική εφαρμογή όπως το σόναρ, απαιτείται η εκπομπή του ήχου να μην είναι συνεχής, διότι σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατόν να διαχωρισθεί εύκολα ο εκπεμπόμενος από τον ανακλώμενο ήχο. Για τον λόγο αυτό και τα ζώα για να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και εμείς στις εφαρμογές χρησιμοποιούμε σύντομα ηχητικά σήματα, τα οποία ονομάζονται **κυματοδέματα**.

Ένα ‘ιδανικό’ κυματοδέμα έχει την μορφή του διπλανού σχήματος. Το κυματοδέμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα αρμονικό κύμα, του οποίου το πλάτος είναι μηδέν εκτός από ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το ηχητικό κυματοδέμα διαδίδεται στον χώρο με την ταχύτητα του ήχου, αποτελεί δηλαδή ένα “ηχητικό βλήμα”.



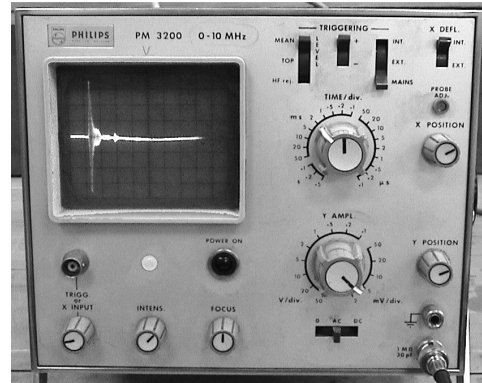
Σχήμα 13:
Μαθηματική παράσταση ενός κυματοδέματος.

Γνωστό κυματοδέμα αποτελεί ο χαρακτηριστικός ήχος που χρησιμοποιούσαν τα υποβρύχια για τον εντοπισμό εμποδίων (το γνωστό και σαν ‘ring’). Ο ήχος που προκαλεί η πτώση μιας πέτρας στο νερό ή στον πυθμένα ενός πηγαδιού, είναι επίσης ένα κυματοδέμα πολύπλοκης μορφής.

Στην άσκησή μας τα κυματοδέματα παράγονται από τον Πομπό, όταν τοποθετήσουμε τον διακόπτη επιλογής λειτουργίας του στην θέση K, με συχνότητα ένα κυματοδέμα κάθε 20 msec. Αν τοποθετήσουμε έναν Ανιχνευτή συνδεδεμένο με παλμογράφο απέναντι από έναν Πομπό που εκπέμπει κυματοδέματα, θα παρατηρήσουμε στην οθόνη μετά από κατάλληλη ρύθμιση, την κυματομορφή της Εικόνας 9.

Επειδή η βάση χρόνου είναι ρυθμισμένη στα 2 ms/div, η οθόνη του παλμογράφου απεικονίζει μία πλήρη περίοδο 20 ms, μέσα στην οποία περιέχεται ένα ακριβώς κυματοδέμα.

Για την ακρίβεια ένα τέτοιο σήμα ονομάζεται **κυματοσυρμός** (“συρμός” σημαίνει τρένο, οπότε μπορούμε να φανταστούμε έναν κυματοσυρμό σαν μια τακτική ακολουθία κυματοδεμάτων). Στην περίπτωση του κυματοσυρμού μπορούμε να διακρίνουμε δύο “συχνότητες”: την συχνότητα των 50 Hz του κυματοσυρμού (που αντιστοιχεί στον χρόνο των 20 ms μεταξύ δύο διαδοχικών κυματοδεμάτων) και την ‘συχνότητα’ του κυματοδέματος που είναι περίπου 40 kHz.



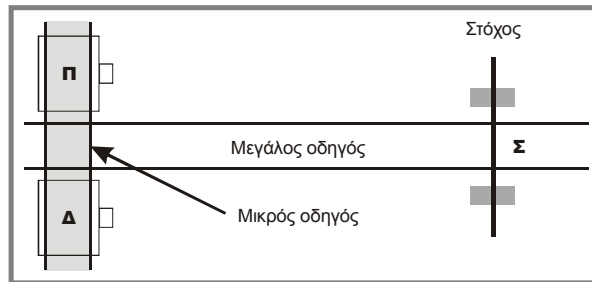
Εικόνα 9: Εικόνα κυματοδέματος στον παλμογράφο.

Πειραματική διαδικασία

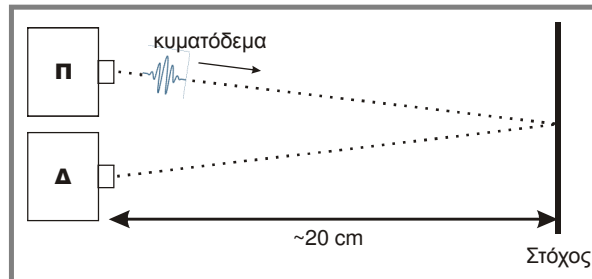
- Βεβαιωθείτε ότι το κουμπί **tune** του Δέκτη είναι στην θέση για μέγιστο σήμα στον Παλμογράφο, όπως στις προηγούμενες φάσεις της άσκησης. Κάντε αρχική ρύθμιση του **gain** του Δέκτη στην θέση “παρά τέταρτο” για να αποφύγετε τον τυχόν ψαλιδισμό του κυματοδέματος στον παλμογράφο (βλ. διπλανό σχήμα).



- Τοποθετήστε τον Πομπό και τον Δέκτη μέσα στον Μικρό Οδηγό. Τοποθετείστε ολόκληρο το σύστημα Πομπού – Δέκτη – Μικρού Οδηγού μέσα στην αριστερή άκρη του Μεγάλου Οδηγού, όπως στο διπλανό σχήμα.

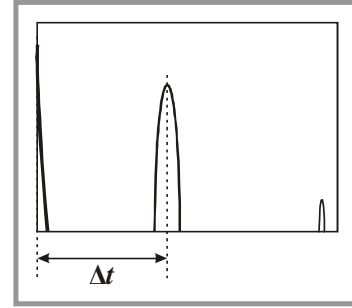


- Τοποθετήστε τον Στόχο σε απόσταση περίπου 20 cm από τον Μικρό Οδηγό. Ο Στόχος στα επόμενα θα παραμένει ακίνητος, ενώ το σύστημα Πομπού – Δέκτη θα κινείται συνολικά, μετακινώντας τον Μικρό Οδηγό.



- Συνδέστε την έξοδο του Δέκτη (αυτή που βρίσκεται στο κουτί του Πομπού – ακροδέκτης Δ) με τον παλμογράφο. Μετά από κατάλληλες ρυθμίσεις, θα πρέπει να δείτε δύο ή περισσότερα κυματοδέματα. Αν κάποια κυματομορφή εμφανίζεται ψαλιδισμένη, μειώστε το gain από τον Δέκτη.

- Μετατοπίζοντας οριζόντια το ίχνος ώστε η πρώτη κορυφή να συμπίπτει με την αρχή των αξόνων, θα πρέπει να δείτε μια εικόνα σαν του διπλανού σχήματος. Η πρώτη κορυφή αντιστοιχεί στο εκπεμπόμενο κυματόδεμα, ενώ η δεύτερη στο ανακλώμενο στον Στόχο. Άλλες κορυφές που τυχόν εμφανίζονται αντιστοιχούν σε δευτερεύουσες ανακλάσεις του αρχικού κυματοδέματος και δεν τις χρησιμοποιούμε.



- Το παραπάνω σχήμα προκύπτει διότι το σήμα στην έξοδο Δt του Πομπού αποτελεί μίσξη του σήματος που παράγει ο Πομπός με αυτά που ανιχνεύει ο Δέκτης. Τα δύο σήματα εισάγονται μαζί στον παλμογράφο, ο οποίος απεικονίζει πρώτα το πρώτο χρονικά σήμα που λαμβάνει (αυτό της γεννήτριας του πομπού).

Η δεύτερη κορυφή (το κυματόδεμα που λαμβάνει ο Δέκτης μετά την ανάκλαση από το Στόχο) είναι μετατοπισμένη (καθυστερημένη) χρονικά κατά Δt σε σχέση με την πρώτη και γι' αυτό φαίνεται στην οθόνη δεξιότερα από την πρώτη κορυφή.

Η χρονική αυτή μετατόπιση είναι ίση με τον χρόνο πτήσης Δt του κυματοδέματος, δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσει το κυματόδεμα από τον Πομπό στον Δέκτη, δηλαδή για να διανύσει απόσταση ίση με περίπου το διπλάσιο της απόστασης Πομπού-Στόχου. Συνεπώς, αν γνωρίζουμε την ταχύτητα του ήχου στο μέσο (~ 340 m/s για τον αέρα και ~ 1200 m/s για το νερό), μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση Πομπού-Στόχου. Αυτή είναι και η βασική αρχή λειτουργίας του Sonar.

(Για την ακρίβεια, πρέπει να διασαφηνιστεί ότι αν θεωρήσουμε το τρίγωνο Πομπού-Στόχου-Δέκτη, για τους σκοπούς της άσκησης χρησιμοποιούμε την προσέγγιση ότι η γωνία (ΠΣΔ) είναι πολύ μικρή, και άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για τις αποστάσεις που χρησιμοποιούμε ισχύει η σχέση $(ΠΣ) + (ΣΔ) = 2 \times (ΟΣ)$. Αν χρειαζόμασταν ακριβέστερο προσδιορισμό της απόστασης (ΠΣ) θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Στις πρακτικές εφαρμογές όμως, ένα Sonar χρησιμοποιεί το ίδιο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και σαν Πομπό και σαν Δέκτη, οπότε δεν προκύπτει το πρόβλημα αυτό).

- Δοκιμάστε να μετακινήσετε τον Στόχο αριστερά ή δεξιά από την αρχική του θέση. Παρατηρήστε ότι ο χρόνος Δt στον παλμογράφο αντίστοιχα μειώνεται ή αυξάνεται.
- Μετρήστε τον χρόνο t για διάφορες θέσεις x_0 του μικρού οδηγού από $x_0 = 20$ cm έως $x_0 = 60$ cm και συμπληρώστε τον παρακάτω Πίνακα IV. Το $s_{O\Sigma}$ είναι η απόσταση Οδηγού - Στόχου.

Πίνακας IV: Μετρήσεις διάταξης Σόναρ.

<i>a/a</i>	Θέση Στόχου x_0 (cm)	Απόσταση Οδηγού- Στόχου $s_{0Σ}$ (cm)	Κλίμακα παλμογράφου (time/div)	Ίχνος παλμο- γράφου k_x	Χρονικό διάστημα Δt (ms)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Για την εργασία:

1. Να κατασκευάσετε την γραφική παράσταση του Δt συναρτήσει του $s_{0Σ}$. Επειδή ο χρόνος πτήσης του κυματοδέματος είναι ανάλογος με την απόσταση που διανύει, αναμένεται να πάρετε μία ευθύγραμμη γραφική παράσταση.
2. Υπολογίστε την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (EET).
3. Με δεδομένο ότι η απόσταση την οποία διανύει το κυματόδεμα είναι κατά προσέγγιση ($2 \times s_{0Σ}$), να υπολογίσετε την ταχύτητα του ήχου η οποία προκύπτει από την EET και να δώσετε μια εκτίμηση για την αβεβαιότητα στον προσδιορισμό αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΓΦ: [Γενική Φυσική] Θ. Καρακώστας & Δ.Σ. Κυριάκος. Φυσική: *Εισαγωγή στη Μηχανική*. (1998) Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζήτη.