

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Ακουστική μετάδοση ισχύος μέσα
από μεταλλικά σώματα**

**Acoustic power transfer through
metal bodies**

Μακαρίκας Δημήτριος

Επιτηρητής καθηγητής: Δρ. Μιχαήλ Κιζήρογλου

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από μένα προσωπικά για τις απαιτήσεις του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Ο Δηλών

Μακαρίκας Δημήτριος



Περίληψη

Αρχικά, παρουσιάζονται οι γενικές πληροφορίες οι οποίες θα βοηθήσουν στην κατανόηση του θέματος της εργασίας. Στην πρώτη ενότητα, δίνονται οι βασικές πληροφορίες για τον ήχο. Στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζουμε τα κύρια χαρακτηριστικά των μικροφώνων. Το κομμάτι των γενικών πληροφοριών ολοκληρώνεται με την Τρίτη ενότητα όπου και αναφερόμαστε στα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία. Στην συνέχεια, γίνεται λεπτομερείς αναφορά στον τρόπο σχεδίασης και υλοποίησης της ακουστικής διάταξης. Έπειτα, ακολουθεί το πειραματικό μέρος πάνω στο οποίο μελετάμε την συμπεριφορά της πιεζοηλεκτρικής κάψας με απώτερο σκοπό την παρατήρηση της μετάδοσης ισχύος πάνω στην διάταξη μας. Τέλος, αναλύουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πειραματική διαδικασία.

Abstract

Initially, general information is presented that will help to understand the topic of the work. In the first section, the basic information about audio is given. In the second section, we present the main features of the microphones. The general information section concludes with the third section where we refer to the piezoelectric elements. Then, a detailed report is made on how to design and implement the acoustic set-up. Afterward, follows the experimental part on which we study the behavior of the piezoelectric component with the ultimate goal of observing the power transmission on set-up. Finally, we analyze the conclusions that emerge from the experimental process.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	
2. Ήχος.....	
2.1 Κατηγορίες ηχητικών κυμάτων.....	
2.2 Ταχύτητα διάδοσης ήχου.....	
2.3 Ένταση του ήχου.....	
3. Μικρόφωνα.....	
3.1 Δυναμικό μικρόφωνο.....	
3.2 Μικρόφωνο ταινίας.....	
3.3 Πυκνωτικό μικρόφωνο	
3.4 Μικρόφωνο κρυστάλλων.....	
4. Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία	
4.1 Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο.....	
4.2 Κατηγορίες πιεζοηλεκτρικών διατάξεων.....	
4.2.1 Αισθητήρας δόνησης (Piezo Vibration sensor)	
4.2.2 Αισθητήρας ταινίας (Piezo film sensor)	
4.2.3 Πιεζοηλεκτρικό στοιχείο ήχου (Piezoelectric sound components).....	
4.3 Πιεζοηλεκτρικές διατάξεις ως παραγωγοί ενέργειας.....	
5. Πειραματική διάταξη.....	
5.1 Βάση της διάταξης.....	
5.2 Ηχητική πηγή.....	
5.2.1 Ηχείο.....	
5.2.2 Ενισχυτής.....	
5.2.3 Τροφοδοσία.....	
5.3 Γεννήτρια συχνοτήτων.....	
5.4 Καλώδια ήχου.....	
6. Μετρήσεις	
6.1 Υπολογισμοί	
6.2 Πειραματικές μετρήσεις.....	
7. Συμπεράσματα.....	
8. Επίλογος.....	
9. Βιβλιογραφία.....	

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθημερινότητα του ανθρώπου γίνεται έντονη ολοένα και περισσότερο. Ιδιαίτερα σε μεγάλες πόλεις οι ρυθμοί είναι αυξημένοι, η χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς και των αυτοκινήτων, η οικοδομική δραστηριότητα, τα έργα υποδομής, οι χώροι εργασίας και ιδιαίτερα οι εργοστασιακές μονάδες έχουν ως αποτέλεσμα να δημιουργούν αυτό που ονομάζουμε κοινώς θόρυβο. Ο θόρυβος αυτός στην γλώσσα των επιστημόνων όμως δεν είναι κάτι αόριστο, είναι κάτι το οποίο εξηγείται αναλύεται χαρακτηρίζεται με σαφήνεια και οι μηχανικοί βλέπουν μια ευκαιρία. Ο στόχος αυτού, η εκμετάλλευση του ως μέσω για την παραγωγή-αποθήκευση ενέργειας.

Σκοπός της εργασίας είναι η αναζήτηση και δημιουργία κατάλληλης διάταξης στην οποία θα μπορούμε να αναλύσουμε και να μελετήσουμε την συμπεριφορά πιεζοηλεκτρικών στοιχείων. Η σχεδίαση της διάταξης βασίστηκε στην σκέψη πως το πιεζοηλεκτρικό χρειάζεται συγκεκριμένες συνθήκες για να αλληλεπιδράσει. Γι' αυτό αρχικά, θα αναφέρουμε τα κύρια χαρακτηριστικά του ήχου όπως επίσης και τις βασικές λειτουργίες των μικροφώνων. Επίσης, θα αναφερθούμε στις κατηγορίες των πιεζοηλεκτρικών στοιχείων και τον τρόπο λειτουργίας των, καταλήγοντας στην επιλογή του στοιχείου αυτού που θα είναι πιο κοντά στην φιλοσοφία της διάταξης με απώτερο σκοπό την μελέτη της συμπεριφοράς του πάνω στην διάταξη που θα σχεδιαστεί.

Η καταγραφή της συμπεριφοράς του για το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων θα είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του πειραματικού μέρους. Επίσης, θα καταγραφεί συνολικά η αλληλεπίδραση του πιεζοηλεκτρικού πάνω στην διάταξη.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας, στόχος είναι να μπορέσουμε να παρατηρήσουμε αν είναι εφικτή η ακουστική μετάδοση ισχύος. Είναι πολύ σημαντικό να επιτύχουμε την διεύρυνση των μέσων απ' όπου μπορούμε να αντλούμε ή να αποθηκεύουμε ενέργεια, ειδικά αν αυτό γίνεται από ανεξάρτητες πηγές χαρίζοντας αυτόνομη τροφοδοσία στα συστήματα.

2 ΗΧΟΣ

Ο ήχος είναι η αίσθηση που προκαλείται λόγω της διέγερσης των αισθητηρίων οργάνων της ακοής από μεταβολές πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτές οι μεταβολές διαδίδονται με την μορφή ηχητικών κυμάτων[1]. Τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη μηχανικά κύματα και διαδίδονται σε στερεά υγρά και αέρια.

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα ηχητικά κύματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το ακουστικό φάσμα συχνοτήτων το οποίο καλύπτουν. Γι' αυτό οι κατηγορίες είναι τρεις:

1)Ακουστικά κύματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι συχνότητες που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί οι οποίες κυμαίνονται από 20Hz μέχρι 20.000Hz και ονομάζονται ακουστικές συχνότητες.

2)Υποακουστικά κύματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι συχνότητες κάτω των 20Hz και δεν γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί.

3)Υπερηχητικά κύματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι συχνότητες άνω των 20.000Hz όπου επίσης δεν γίνονται αντιληπτά από την ακοή του ανθρώπου.

2.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΗΧΟΥ

Η ταχύτητα του ήχου διαφέρει ανάλογα με το μέσο διάδοσής του. Η ταχύτητα διάδοσης στα στερεά είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα υγρά και τα αέρια όπως και τα υγρά σε σχέση με τ' αέρια καθώς εξαρτάται από την ελαστικότητα και την πυκνότητα του μέσου.

Η εξίσωση ταχύτητας στα στερεά είναι[2]:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας του μέσου και μετριέται σε N/m^2 ,
 ρ είναι η πυκνότητα του μέσου και μετριέται σε kg/m^3 .

Επίσης, η εξίσωση ταχύτητας στα αέρια είναι[3]:

$$c_a = \sqrt{\frac{\gamma * R * T}{m_{mol}}}$$

όπου γ το πηλίκο $\frac{c_p}{c_v}$ των ειδικών θερμοτήτων του αερίου,
 R η παγκόσμια σταθερά των τέλειων αερίων,

m_{mol} η μάζα ενός γραμμομορίου του αερίου

T η απόλυτη θερμοκρασία του.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά διάφορες τιμές για τα στερεά υγρά και αέρια μέσα.

Ταχύτητα του ήχου σε διάφορα μέσα		
	Υλικά	Ταχύτητα (m/s)
Αέρια	Αέρας	330
	Ήλιο	930
	Υδρογόνο	1270
	Διοξείδιο του άνθρακα	260
	Οξυγόνο	320
Υγρά	Υδράργυρος	1450
	Θαλασσινό νερό	1520
	Νερό	1482
Στερεά	Μόλυβδος	1230
	Χαλκός	3800
	Γυαλί	5500
	Αλουμίνιο	5100
	Σίδηρος	5120
	Γρανίτης	5950
	Ξύλο Πεύκου	3320

Πίνακας 2.1. Ταχύτητα του ήχου σε διάφορα στερεά, υγρά και αέρια μέσα(ενδεικτικά)[4].

2.3 Ένταση του ήχου

Ένταση ήχου ορίζουμε την ισχύς του ηχητικού κύματος ανά μονάδα επιφάνειας ή αλλιώς την ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου.

Οι μαθηματικοί τύποι οι οποίοι εκφράζουν τον ορισμό είναι δύο κατά περίπτωση[5].

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) * u(t) dt$$

όπου P η ακουστική/ηχητική πίεση,

u η εγκάρσια ταχύτητα των μορίων του αέρα

T περίοδος ταλάντωσης.

Στην περίπτωση σφαιρικής διάδοσης του ήχου, ο τύπος που μας δίνει την ένταση του κύματος είναι της μορφής[5],

$$I = \frac{W}{A} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

όπου W η ισχύς της ηχητικής πηγής

r η απόσταση – ακτίνα.

Σφαιρική διάδοση έχουμε όταν το μέσο της πηγής είναι σφαιρικό με αποτέλεσμα η διάδοση του σήματος να διαχέεται κυκλικά. Γι αυτό και στον ορισμό η απόσταση αντικαθίσταται από την ακτίνα του κύκλου που σχηματίζεται από τον σφαιρική διάδοση του ήχου.

3 Μικρόφωνα

Τα μικρόφωνα ταξινομούνται με δύο τρόπους. Βάση της λειτουργίας τους ή της κατευθυντικότητας τους. Σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας, ο οποίος θα αναλυθεί στις παρακάτω ενότητες, υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες μικροφώνων όπως φαίνονται περιληπτικά στο Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

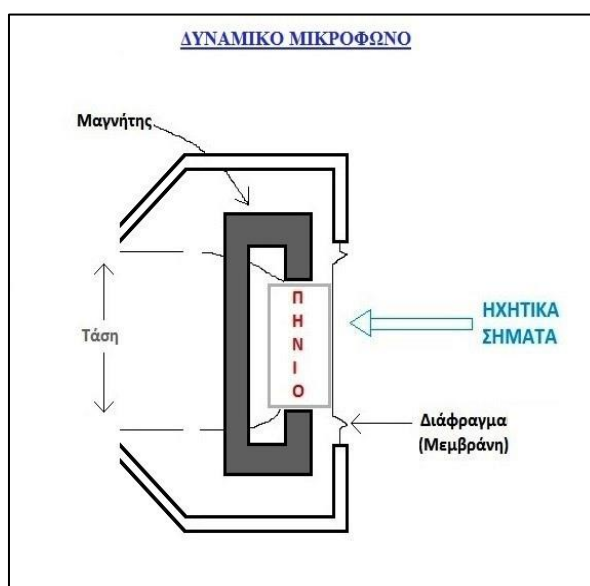
Κατηγορία	Βασικό υλικό	Τρόπος λειτουργίας
Δυναμικό μικρόφωνο	Πηνίο	Βασίζεται στην παραγωγή τάσης εξ επαγωγής.
Μικρόφωνο ταινίας	Πτυχωτή ταινία	
Πυκνωτικό μικρόφωνο	Πυκνωτής	Βασίζεται στις διακυμάνσεις της χωρητικότητας του πυκνωτή
Μικρόφωνο κρυστάλλων	Πιεζοκρυσταλλικό υλικό	Βασίζεται στην παραγωγή τάσης από το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.

Πίνακας 3.1. Κατηγορίες και κύρια χαρακτηριστικά των μικροφώνων.

Η λειτουργία του μικροφώνου κρυστάλλων έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς το βασικό υλικό που χρησιμοποιείτε θα είναι και το υλικό με το οποίο θ' ασχοληθούμε εκτενέστερα.

3.1 Δυναμικό μικρόφωνο

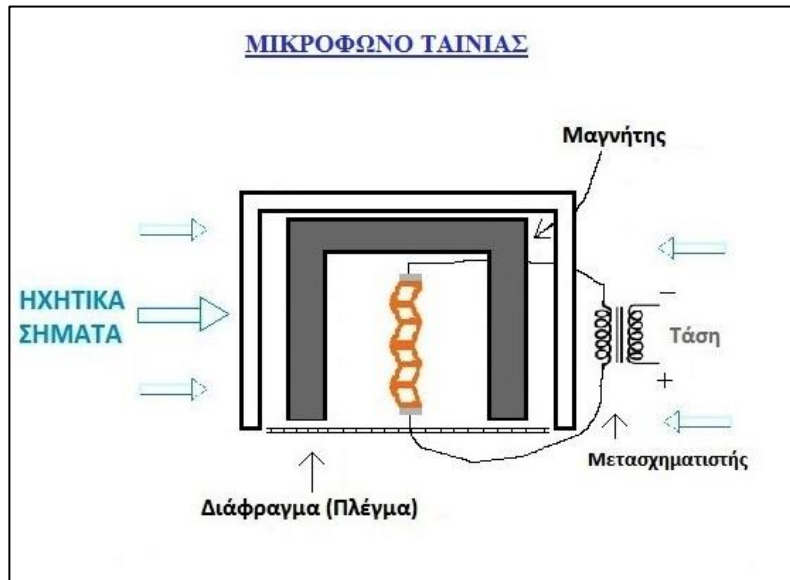
Το δυναμικό μικρόφωνο αποτελείται από έναν ισχυρό μόνιμο μαγνήτη και ένα πηνίο το οποίο βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων, κινούμενο ελεύθερα[6]. Όταν ηχητικά κύματα χτυπούν στο διάφραγμα, το πηνίο πάλλεται στο πεδίο του μαγνήτη, τέμνονται οι μαγνητικές γραμμές κι εμφανίζεται στα άκρα του πηνίου επαγωγική τάση[6]. Η σχεδίαση δυναμικού μικροφώνου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Διάταξη Δυναμικού Μικροφώνου[Συγγραφέας].

3.2 Μικρόφωνο ταινίας

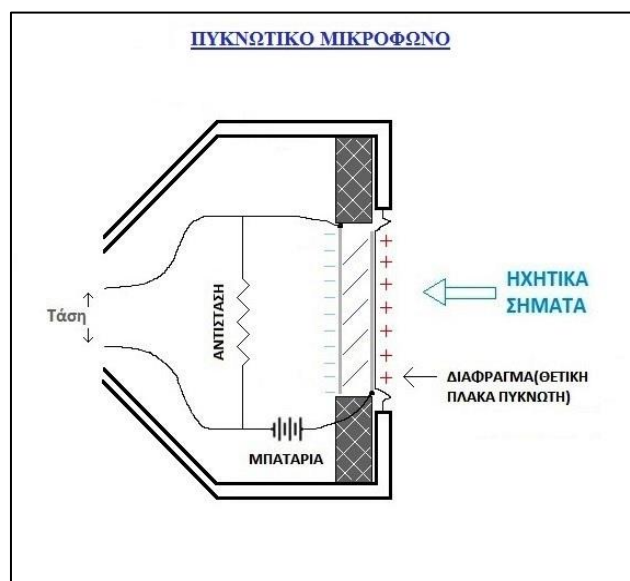
Το μικρόφωνο ταινίας περιέχει επίσης έναν ισχυρό μόνιμο μαγνήτη όπου μέσα στο μαγνητικό του πεδίο κινείται ελεύθερα η λεπτή πτυχωτή ταινία καθώς πάλλεται από τα ηχητικά κύματα μέσω του διαφράγματος, δημιουργώντας διαφορά τάσης στ' άκρα της ταινίας[6]. Η σχεδίαση περιγράφεται στο **Σχήμα 3.2**.



Σχήμα 3.2. Διάταξη Μικροφώνου ταινίας[Συγγραφέας].

3.3 Πυκνωτικό μικρόφωνο

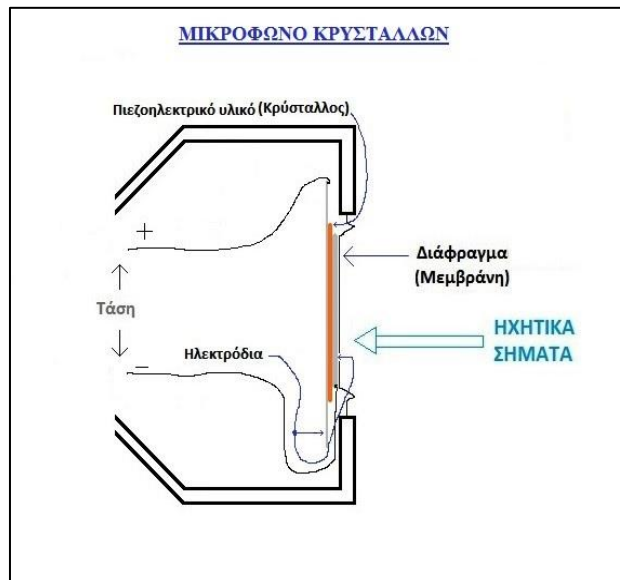
Το πυκνωτικό μικρόφωνο βασίζεται στην μεταβολή της πίεσης που ασκείται από τα ηχητικά κύματα στη μπροστινή πλάκα του πυκνωτή μέσω του διαφράγματος μεταβάλλοντας την χωρητικότητα του[6]. Η μεταβολή αυτή οδηγεί στην διακύμανση της τάσης σε σχέση με την σταθερή πηγή τάσης (πχ μπαταρία) που χρησιμοποιείται ώστε να διαμορφώνονται οι διάφορες τιμές τάσεων για αντίστοιχες μεταβολές χωρητικότητας του πυκνωτή. Η σχεδίασή του φαίνεται στο **Σχήμα 3.3**.



Σχήμα 3.3. Διάταξη Πυκνωτικού Μικροφώνου[Συγγραφέας].

3.4 Μικρόφωνο κρυστάλλων

Το μικρόφωνο κρυστάλλων σύμφωνα με το **Σχήμα 3.4** έχει δύο πλάκες ηλεκτροδίων όπου η μια είναι συνδεδεμένη με το διάφραγμα και ανάμεσά τους είναι το πιεζοηλεκτρικό υλικό (πχ χαλαζίας) όπου με την πίεση που ασκούν τα ηχητικά κύματα στο διάφραγμα κάμπτονται το υλικό και παράγεται τάση στις πλάκες ηλεκτροδίων λόγω του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου το οποίο θ' αναλυθεί περαιτέρω σ' επόμενη ενότητα.



Σχήμα 3.4. Διάταξη Μικροφώνου Κρυστάλλων [Συγγραφέας].

4 Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία

Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία θεωρούνται φυσικοί κρύσταλλοι όπως είναι ο χαλαζίας (quartz – SiO₂), κεραμικά υλικά τα οποία έχουν πολωθεί με τεχνικό τρόπο και σε ορισμένα πολυμερή όπως είναι το φθοριούχο πολυβινυλιδένιο (polyvinylidene fluoride – PVDF)[7]. Σε τέτοιου είδους υλικά που εμφανίζεται το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο τα τοποθετούμε σε αυτή την κατηγορία. Από τους πρώτους ανθρώπους που εκμεταλλεύτηκαν την ιδιότητες των υλικών ήταν ο Γάλλος καθηγητής Paul Langevin οποίος με την χρήση πλακών χαλαζία παρήγαγε και ανίχνευε ηχητικά κύματα στο νερό όπου ήταν και ο προπομπός του sonar που γνωρίζουμε σήμερα[7].

4.1 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

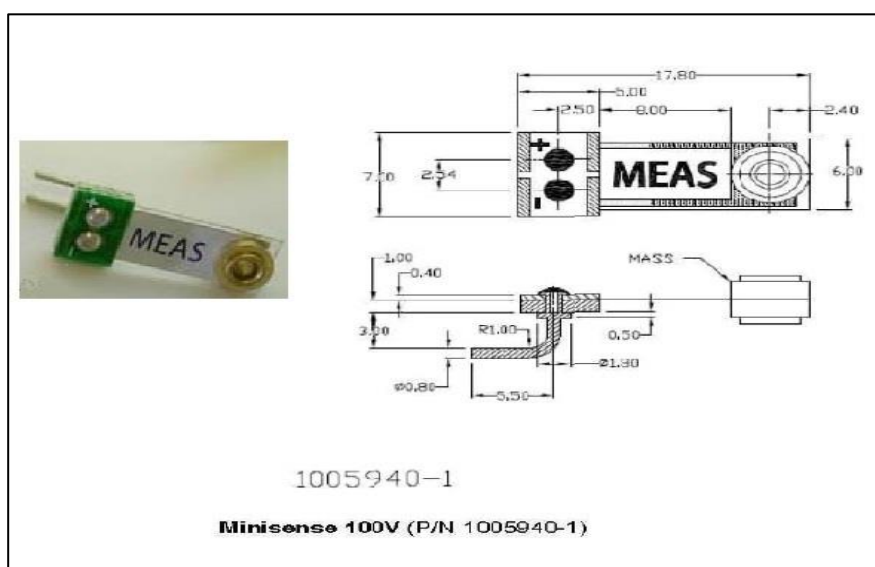
Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου από ένα κρυσταλλικό υλικό όταν υποβάλλεται σε πίεση ή τάση[7]. Ουσιαστικά ο κρύσταλλος όταν βρίσκεται σε ηρεμία – αδράνεια είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Όταν όμως ασκείται πίεση, η δομή του μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να προκύπτει ηλεκτρικό φορτίο στα άκρα του.

4.2 Κατηγορίες πιεζοηλεκτρικών διατάξεων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πιεζοηλεκτρικών διατάξεων όπου ανάλογα τις εφαρμογές στις οποίες τα χρησιμοποιούμε, κάνουμε και την καταλληλότερη επιλογή.

4.2.1 Vibration Sensor

Αισθητήρας δόνησης (vibration sensor). Η λειτουργία του βασίζεται στην ταλάντωση του σφαιριδίου που βρίσκεται στην άκρη της διάταξης μέσω των δονήσεων που προκαλούνται στην επιφάνεια που τοποθετείται, από την οποία προκαλείται η μεταβολή της πιεζοηλεκτρικής διάταξης για την παραγωγή του ηλεκτρικού φορτίου. Στην **Σχήμα 4.1** απεικονίζεται ένα παράδειγμα αυτού.



Σχήμα 4.1. Διάταξη Αισθητήρα δόνησης[8].

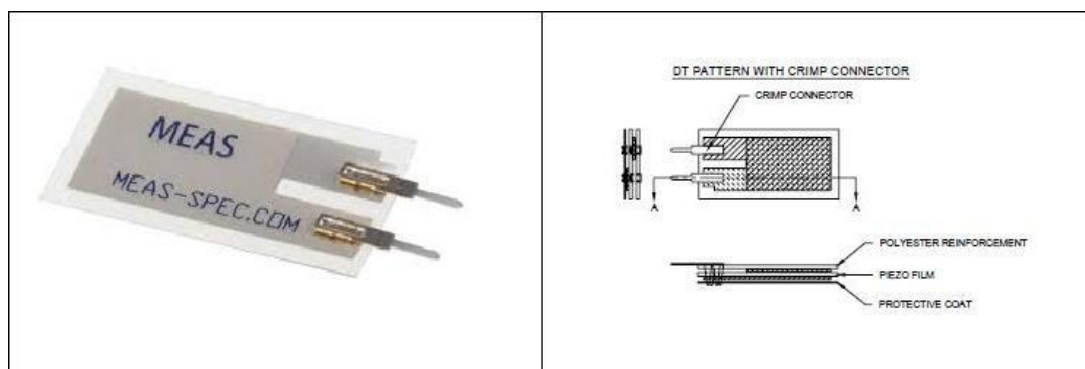
Τα τυπικά χαρακτηριστικά του Vibration sensor φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1 χωρίς αυτό να σημαίνει πως είναι δεσμευτικά.

Τεχνικά χαρακτηριστικά (Vibration Sensor)		
Παράμετροι	Τιμή	Μονάδες
Voltage Sensitivity - Ευαισθησία τάσης	1.1	V/g
Charge Sensitivity - Ευαισθησία φόρτισης	260	pC/g
Resonance frequency - Συχνότητα συντονισμού	75	Hz
Ευαισθησία τάσης (συντονισμού)	6	V/g
Upper limiting frequency - Ανώτερη περιοριστική συχνότητα	42	Hz
Linearity -Γραμμικό σφάλμα	+/- 1	%
Capacitance - Χωρητικότητα	244	pF
Dissipation Factor - Συντελεστής απόσπασης	0.018	(none)
Inertial Mass – Αδρανειακή μάζα	0.3	gram

Πίνακας 4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων δόνησης(ενδεικτικά)[8].

4.2.2 Piezo Film Sensor

Αισθητήρας ταινίας (piezo film sensor). Η λειτουργία του βασίζεται στην ελαστικότητα της ταινίας η οποία προκαλεί και την κάμψη του πιεζοηλεκτρικού φύλλου που περικλείεται μέσα σε αυτή. Η δομή του film sensor απεικονίζεται στο μπλοκ διάγραμμα της Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2. Διάταξη Αισθητήρα ταινίας[9].

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του film sensor στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί:

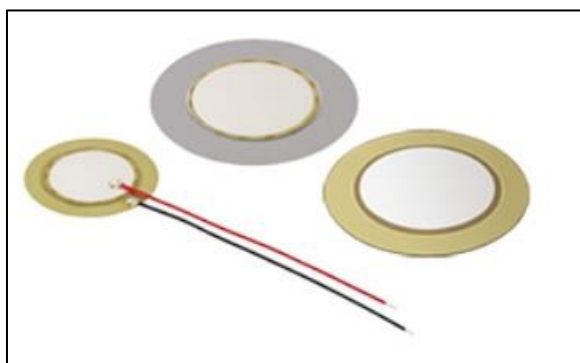
Τεχνικά χαρακτηριστικά (Film Sensor)		
Παράμετροι	Τιμή	Μονάδες
Baseline Sensitivity - Ευαισθησία τάσης	50	mV/g
Charge Sensitivity - Ευαισθησία φόρτισης	3.4	nC/g
Resonance frequency - Συχνότητα συντονισμού	180	Hz
Ευαισθησία τάσης (συντονισμού)	1.4	V/g
Linearity -Γραμμικό σφάλμα	+/- 1	%
Capacitance - Χωρητικότητα	480	pF

Πίνακας 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων ταινίας(ενδεικτικά)[9].

Τα παραπάνω στοιχεία του αισθητήρα διαφοροποιούνται ανάλογα το μέγεθος της ταινίας, την ελαστικότητά της και των συνδέσεων στ' άκρα του αισθητήρα.

4.2.3 Piezoelectric Sound Components

Μια ακόμα κατηγορία την οποία θα περιγράψουμε είναι τα Piezoelectric Sound Components. Χρησιμοποιούνται ως βασικό μέρος ηχείου, το οποίο παράγει ήχο ανάλογα τα χαρακτηριστικά του, για μικρές εφαρμογές. Θα τις βρούμε κι ως Πιεζοηλεκτρικές κάψες οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή σε μουσικά όργανα. Υπακούει στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο απλά διαφέρει σε σχέση με τους αισθητήρες καθώς σε αυτή την περίπτωση η κάμψη του υλικού προκαλείται λόγω της τάσης που ασκείται στα άκρα του και όχι από μηχανική κίνηση όπως στους αισθητήρες. Το σχήμα του είναι λεπτή δισκοειδής πλάκα σε διάφορα μεγέθη όπως φαίνεται και στο παρακάτω **Σχήμα 4.3**.



Σχήμα 4.3. Πιεζοηλεκτρική κάψα[10].

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία της πιεζοηλεκτρικής κάψας παρουσιάζονται στον παρακάτω **Πίνακα 4.3**.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Πιεζοηλεκτρικής κάψας		
Παράμετροι	Τιμή	Μονάδες
Resonant frequency - Συχνότητα συντονισμού	2000	Hz
Resonant impedance(max)-Μέγιστη σύνθετη αντίσταση	300	Ohm
Max input voltage-Μέγιστη τάση εισόδου	30	V _{p-p}
Capacitance @ 1kHz-Χωρητικότητα σε 1kHz	45000	pF
Plate material-Υλικό πλάκας	Brass	-
Operating Temperature-Θερμοκρασία λειτουργίας	-20 ~ +70	°C
Storage Temperature-Θερμοκρασία αποθήκευσης	-30 ~ +80	°C

Πίνακας 4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά πιεζοηλεκτρικής κάψας (ενδεικτικά)[11].

4.3 Πιεζοηλεκτρικές διατάξεις ως παραγωγί ενέργειας

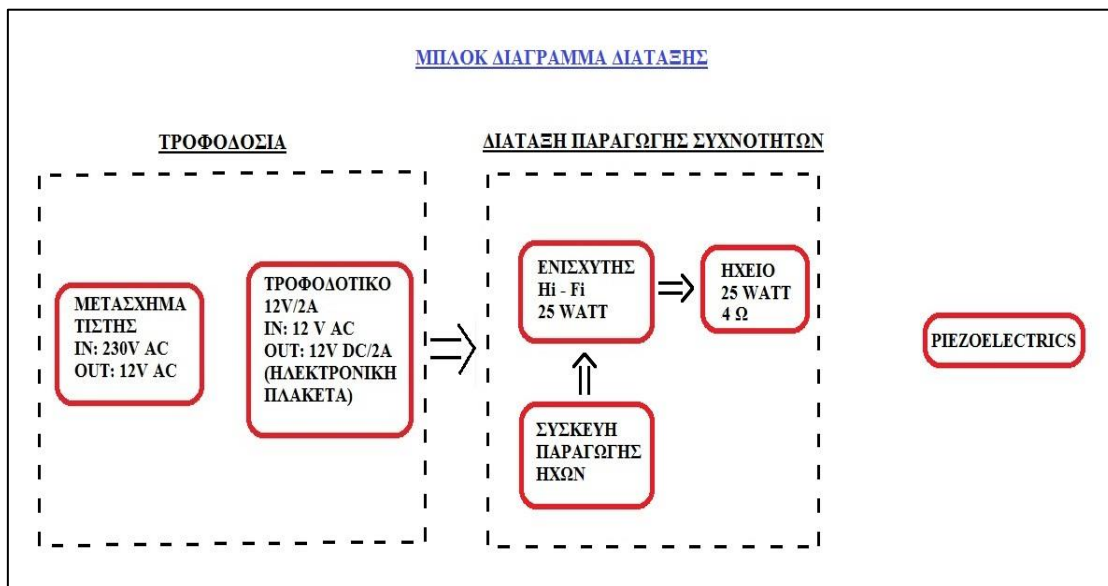
Τα PZT, είναι υλικά τα οποία ίσως μπορούν να χαρακτηριστούν παραγωγί ενέργειας καθώς στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τίποτα δεν περισσεύει. Αντιθέτως, Η εμβάθυνση και η περαιτέρω διερεύνηση είναι αυτή που θα δώσει την απάντηση, εάν μπορούν να διαδραματίσουν το δικό τους ρόλο. Στην ενότητα που ακολουθεί θ' αναπτύξουμε και θ' αναλύσουμε μια διάταξη πάνω στην οποία θα μελετήσουμε την συμπεριφορά των Piezoelectric Sound Components πάνω

στις ακουστικές συχνότητες, σε πειραματικό και θεωρητικό επίπεδο ώστε να προσπαθήσουμε να δώσουμε απαντήσεις στο θέμα που μας απασχολεί.

5 Πειραματική διάταξη

Η πιεζοηλεκτρική κάψα όπως είδαμε κάμπτεται όταν εφαρμόζουμε τάση στα άκρα της και ανάλογα τα χαρακτηριστικά της, συντονίζεται σε συγκεκριμένη συχνότητα και παράγει ήχο. Για να χρησιμοποιηθεί ως παραγωγός ενέργειας θα χρειαστεί να αντιστρέψουμε την διαδικασία αυτή. Δηλαδή, θα στέλνουμε τον ήχο στην κάψα ώστε να παράγει τάση στ' άκρα της. Για να εφαρμοστεί κάτι τέτοιο, θα διαμορφώσουμε μια διάταξη στην οποία θα μπορούμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της κάψας στις ακουστικές συχνότητες.

Τα βασικά στοιχεία που θα χρειαστούμε για την διάταξη είναι ένα υλικό που θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για το ηχείο και την πιεζοηλεκτρική κάψα, έναν μετασχηματιστή για το ηχείο και μια γεννήτρια συχνοτήτων. Το μπλοκ διάγραμμα του **Σχήματος 5.1** μας δίνει περιληπτικά την εικόνα των στοιχείων που θα χρησιμοποιήσουμε, τα οποία και θα αναλύσουμε περαιτέρω.



Σχήμα 5.1. Μπλοκ διάγραμμα διάταξης.

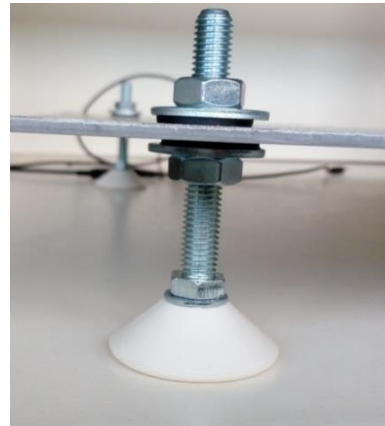
5.1 Βάση της διάταξης

Η βάση που θα επιλέξουμε θα πρέπει να καλύπτει βασικές προϋποθέσεις τις οποίες θα αναπτύξουμε, ώστε να είναι πιο αποτελεσματική. Αρχικά, το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να μην έχει τον χαρακτήρα του μονωτή ώστε όταν ο ήχος ταξιδεύει πάνω στην επιφάνεια του, να μην προκαλεί αλλοίωση του ήχου. Η επιλογή που καλύπτει το βασικό αυτό χαρακτηριστικό είναι το αλουμίνιο. Οι διαστάσεις την μεταλλικής πλάκας θα είναι 1.00 m X 0.5 m X 3 mm (μήκοςXπλάτοςXπάχος). Οι διαστάσεις είναι τέτοιες ώστε να μπορεί να αντέχει το βάρος των στοιχείων που θα είναι πάνω σε αυτήν, χωρίς να επηρεάζει την ταλάντωση, καθώς η πλάκα θα στηρίζεται πάνω σε 4 στηρίγματα για να μειώσουμε στο ελάχιστο κραδασμούς και τριβές από επαφή με άλλες επιφάνειες. Ιδιαίτερα το μήκος είναι αρκετό ώστε να διερευνήσουμε την λειτουργία της κάψας, για το οποίο θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα. Πάνω σε αυτή την λογική το κάθε στήριγμα (**Σχήμα 5.3**), θα

είναι βιδωμένο πάνω στην πλάκα με παξιμάδια και ροδέλες από καουτσούκ, οι οποίες (ροδέλες) μειώνουν στο ελάχιστο δυνατό τις τριβές-δονήσεις που θα δέχεται η πλάκα από τις βάσεις. Το **Σχήμα 5.2** απεικονίζει συνολικά τη μεταλλική πλάκα με τα στηρίγματα που καταλήξαμε.

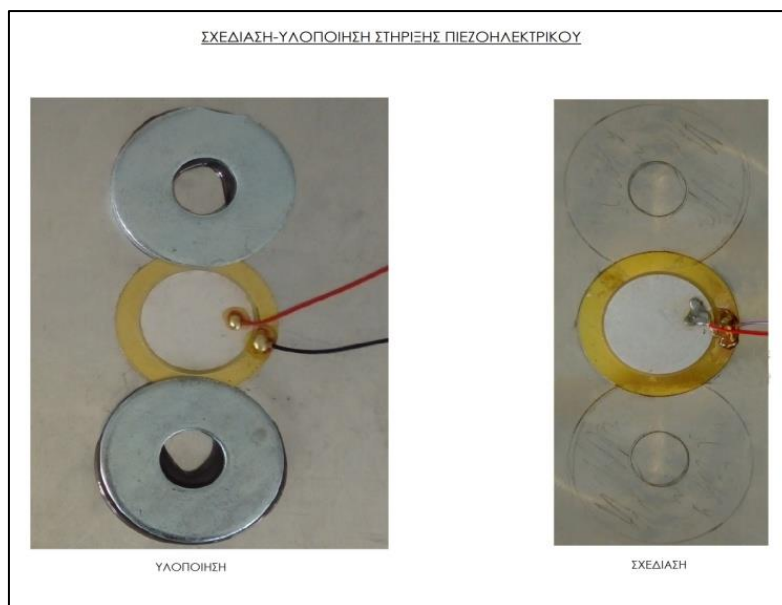


Σχήμα 5.2. Βάση της διάταξης



Σχήμα 5.3. Στηρίγμα

Επίσης, για το πιεζοηλεκτρικό θα χρειαστούμε μια στήριξη ώστε να το τοποθετηθεί σωστά πάνω στην διάταξη. Γι αυτό θα κολλήσουμε με ισχυρή κόλλα δύο ροδέλες στην αριστερά και δεξιά αυτού ώστε να το συγκρατεί πάω στην διάταξη χωρίς να το εμποδίζει την ταλάντωσή του. Η σχεδίαση και υλοποίηση παρουσιάζονται στο **Σχήμα 5.4**.



Σχήμα 5.4. Σχεδίαση-Υλοποίηση στήριξης πιεζοηλεκτρικού

5.2 Ηχητική πηγή

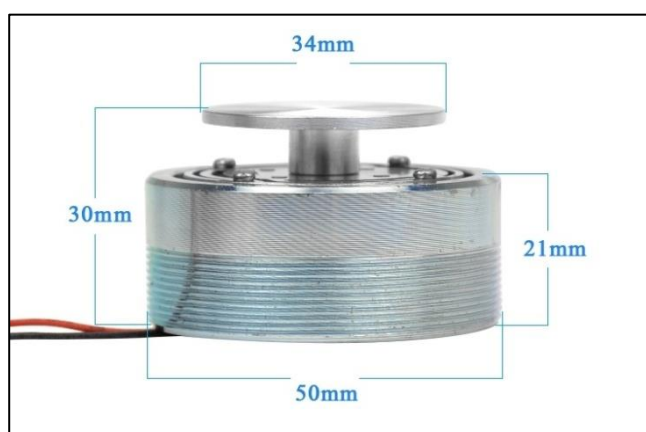
Η ηχητική πηγή ουσιαστικά είναι το μέσω από το οποίο θα βγαίνουν οι ήχοι-συχνότητες. Ηχητική πηγή μπορούμε να θεωρήσουμε το ηχείο, αλλά από μόνο του χωρίς την κατάλληλη ενίσχυση δεν μπορεί να σταθεί. Γι αυτό θα χρειαστούμε και

έναν ενισχυτή, αφενός να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις ιδιότητες του ηχείου, αφετέρου να μας παρέχει την δυνατότητα να οδηγούμε τις ηχητικές συχνότητες.

5.2.1 Ηχείο

Τα ηχεία τα οποία γνωρίζουμε στην κλασική τους μορφή δεν είναι τα απολύτως κατάλληλα για την διάταξη καθώς είναι σχεδιασμένα ώστε να χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο διάδοσης του ήχου. Στην συγκεκριμένη διάταξη θα ήταν καταλληλότερο ένα ηχείο όπου η δομή του να εκμεταλλεύεται την μεταλλική πλάκα της διάταξης. Γι αυτό και θα χρησιμοποιήσουμε ηχείο δονήσεων και συγκεκριμένα το Pouder speaker vibration.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Pouder(Σχήμα 5.5) παρουσιάζονται αναλυτικά στο Πίνακα 5.1.



Σχήμα 5.5. Pouder speaker vibration (Ηχείο διάταξης)[12].

Τεχνικά χαρακτηριστικά Pouder speaker vibration	
Output Power - Ισχύς εξόδου	25W
Maximum Power – Μέγιστη Ισχύς	30W
Frequency – Συχνότητα	60Hz-20KHz
Resistance – Αντίσταση	4Ω
Sensitivity – Ευαισθησία	86db
Audio Crossover - Σύνδεση	Two-Way
Speaker Type – Τύπος ηχείου	Combination
Power source – Πηγή	AC
Waterproof – Αδιάβροχο	Yes
Communication – Σύνδεση	Audio Line
Channels – Κανάλια	1
Audio output - Έξοδοι	Dual
Speaker Classification - Κατηγορία	Subwoofer

Πίνακας 5.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Pouder speaker vibration(ηχείο)[12].

Η ισχύς του ηχείου είναι ικανή να μας δώσει την ένταση που θέλουμε για την διερεύνηση αλλά θα χρειαστεί να τ' οδηγήσουμε από έναν ενισχυτή ώστε να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις δυνατότητές του.

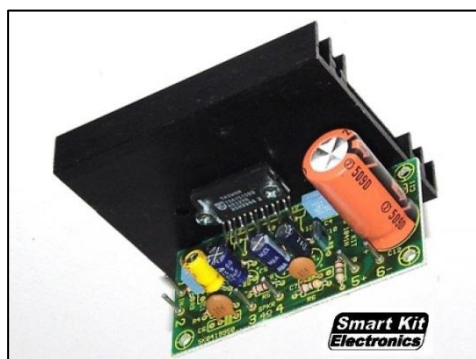
5.2.2 Ενισχυτής

Η επιλογή του ενισχυτή και τα κύρια χαρακτηριστικά του θα πρέπει να συμβαδίζουν με του ηχείου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε έναν ενισχυτή 25watts στον οποίο θα συνδέσουμε πάνω το ηχείο και την γεννήτρια συχνοτήτων. Στον Πίνακα 5.2 δίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά του ενισχυτή.

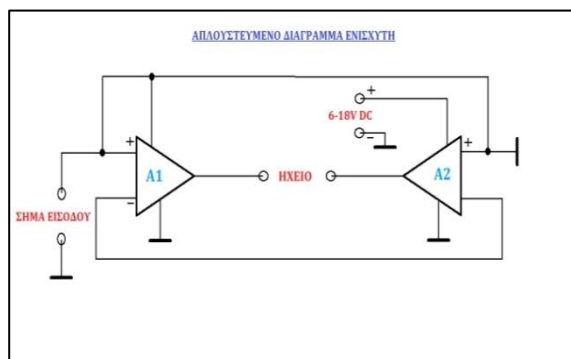
Τεχνικά χαρακτηριστικά ενισχυτή Hi-fi 25Watts	
Τροφοδοσία	6-18 VDC
Μέγιστο Ρεύμα	2 A
Ρεύμα ηρεμίας	100 mA
Φορτίο εξόδου	4 Ω
Απόκριση συχνότητας	40 Hz – 20 Kz

Πίνακας 5.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Hi-fi 25 watts ενισχυτή[13].

Σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 5.7) χρησιμοποιήθηκαν δύο όμοιοι ενισχυτές των 12,5Watts λειτουργίας τύπου B και συνδεδεμένοι σε γέφυρα ώστε να έχουμε 25Watts σύνολο. Επίσης, έχει πυκνωτές για την προστασία του ενισχυτή από υπερφόρτωση του. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή η τάση τροφοδοσίας θα είναι στα 12Vdc. Το μονταρισμένο κύκλωμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6. Μονταρισμένο κύκλωμα ενισχυτή[13].



Σχήμα 5.7. Διάγραμμα ενισχυτή[13].

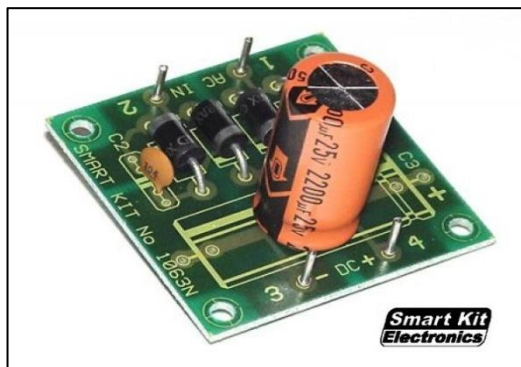
5.2.3 Τροφοδοσία

Η παροχή τροφοδοσίας του ενισχυτή με 12Vdc θα γίνει χρησιμοποιώντας ένα AC/AC προσαρμογέα από 230 Vac σε 12V ac και 2A με ένα μετασχηματιστή τάσης από 12Vac 2A σε 12Vdc και 2A ένταση ρεύματος όπου είναι και το μέγιστο ρεύμα του ενισχυτή που αναλύσαμε. Ο AC/AC προσαρμογέας απεικονίζεται στο Σχήμα 5.8.

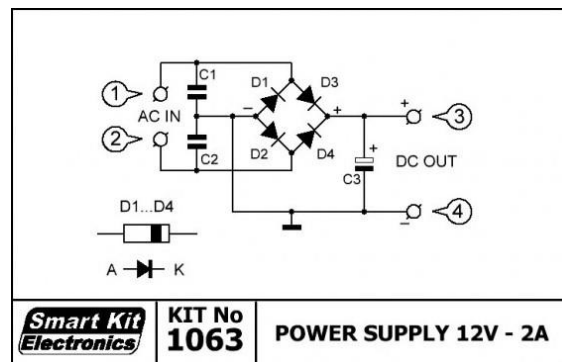


Σχήμα 5.8. AC/AC προσαρμογέας

Ο μετασχηματιστής AC/DC (Σχήμα 5.9) είναι ένας συμβατικός μετασχηματιστής διπλής ανόρθωσης με χρήση διόδων σε διάταξη γέφυρας Wheatstone όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα (Σχήμα 5.10).



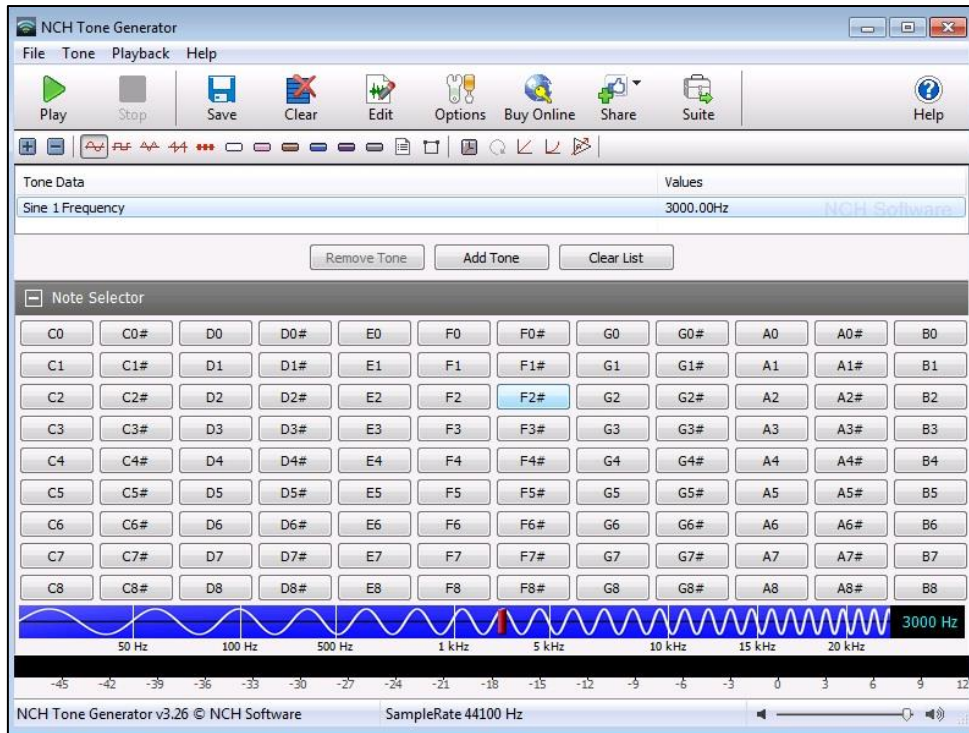
Σχήμα 5.9. Μετασχηματιστής AC/DC[14].



Σχήμα 5.10. Διάγραμμα AC/DC[14].

5.3 Γεννήτρια συχνοτήτων

Η γεννήτρια συχνοτήτων έχει την δυνατότητα να παράγει συγκεκριμένες τιμές ώστε να μπορέσουμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά του πιεζοηλεκτρικού για κάθε τιμή συχνότητας που θα ορίζουμε. Υπάρχουν γεννήτριες που πιάνουν μεγάλο φάσμα, επειδή όμως η διερεύνηση η δική μας αναφέρεται στις ακουστικές συχνότητες θα χρησιμοποιήσουμε μια πιο απλή. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν ελεύθερα προγράμματα γεννητριών ακουστικών συχνοτήτων όπως το NCH Tone Generator, τα οποία με μια απλή εγκατάσταση σε φορητό υπολογιστή και την σύνδεση αυτού με τον ενισχυτή της διάταξής μας μπορούν να μας δώσουν τις απαραίτητες τιμές. Ενδεικτικά στο **Σχήμα 5.11**, έχουμε μια απεικόνιση του περιβάλλοντος του προγράμματος που αναφέραμε το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε.



Σχήμα 5.11. Πρόγραμμα γεννήτριας συχνοτήτων NCH Tone Generator[15].

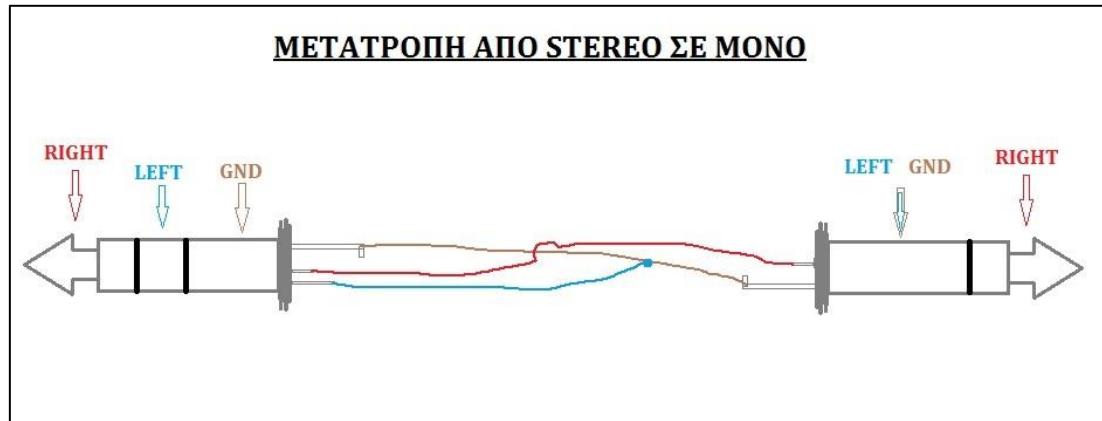
5.4 Καλώδια ήχου

Η σύνδεση του ενισχυτή με το ηχείο και την γεννήτρια συχνοτήτων χρειάζεται και την αντίστοιχη καλωδίωση. Τα βύσματα που έχουμε είναι για mono ή stereo ήχο όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 5.12. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε mono καθώς ο ήχος πηγαίνει σ' ένα ηχείο. Η πιο απλή σύνδεση θα ήταν με δύο βύσματα αρσενικά mono ήχο.



Σχήμα 5.12. Αρσενικά βύσματα MONO/STEREO

Σε περίπτωση που έχουμε βύσμα stereo και mono θα χρειαζόταν να κάνουμε μετατροπή ώστε να λαμβάνουμε τον σωστό ήχο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να βραχυκυκλώσουμε την γείωση και το ένα από τα δύο ηχεία (πχ το αριστερό) του stereo βύσματος και να το συνδέσουμε με την γείωση του mono βύσματος και την επαφή που μένει την συνδέουμε κατευθείαν από το ένα στο άλλο όπως φαίνεται και το **Σχήμα 5.13**.



Σχήμα 5.13. Μετατροπή Stereo σε Mono

6 Μετρήσεις

Το στοιχείο το οποίο θα διερευνήσουμε είναι η πιεζοηλεκτρική κάψα όπως φαίνεται και από το **Σχήμα 5.4**. Πιο συγκεκριμένα, είναι κάψα διαμέτρου 27 χιλιοστών με κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας του στον **Πίνακα 6.1** που ακολουθεί.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Πιεζοηλεκτρικής κάψας		
Παράμετροι	Τιμή	Μονάδες
Resonant frequency - Συχνότητα συντονισμού	4000±0.5	Hz
Resonant impedance(max)-Μέγιστη σύνθετη αντίσταση	200max	Ohm
Max input voltage-Μέγιστη τάση εισόδου	30max	V _{p-p}
Capacitance @ 1kHz-Χωρητικότητα σε 1kHz	25±30%	nF
Operating Temperature-Θερμοκρασία λειτουργίας	-20 ~ +70	°C
Storage Temperature-Θερμοκρασία αποθήκευσης	-30 ~ +80	°C

Πίνακας 6.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά κάψας[19].

Τα χαρακτηριστικά αυτά εμφανίζονται όταν ασκηθεί τάση στα άκρα του. Τα στοιχεία που θα προκύψουν από την χρήση του ως συλλέκτη είναι και αυτά τα οποία θα μελετήσουμε και θα αναλύσουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

6.1 Υπολογισμοί

Για να υπολογίσουμε την ισχύ του πομπού(ηχείο) θα χρειαστεί να συνδέσουμε μια αντίσταση σε σειρά της τάξεως του 0.1Ohm για να υπολογίσουμε το ρεύμα που διαρέεται στο πομπό. Η τιμή της αντίστασης πρέπει να είναι μικρή ώστε να επηρεαστεί το λιγότερο δυνατό η τάση του πομπού και ταυτόχρονα να μας δώσει έμμεσα το ρεύμα του καθώς είναι ίδιο και στην αντίσταση. Την τιμή του ρεύματος δεν είναι δυνατό να την πάρουμε άμεσα από το ηχείο καθώς δεν γνωρίζουμε για κάθε στιγμή την τιμή της αντίστασή του. Η διαδικασία υπολογισμού αποτυπώνεται στα βήματα που ακολουθούν.

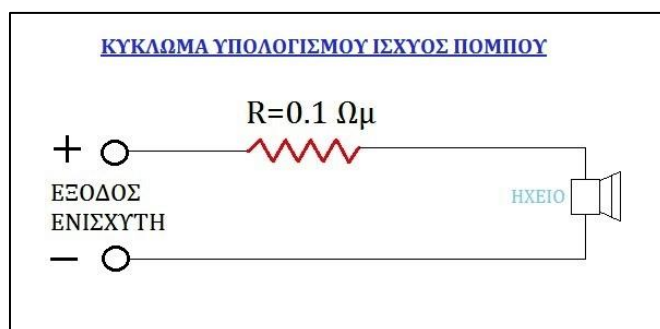
Υπολογισμός ισχύς του πομπού

Βήμα 1°: Τάση αντίστασης V_{peak} από παλμογράφο.

Βήμα 2°: Υπολογισμός $V_{rms} = V_{peak}/\sqrt{2}$ της αντίστασης.

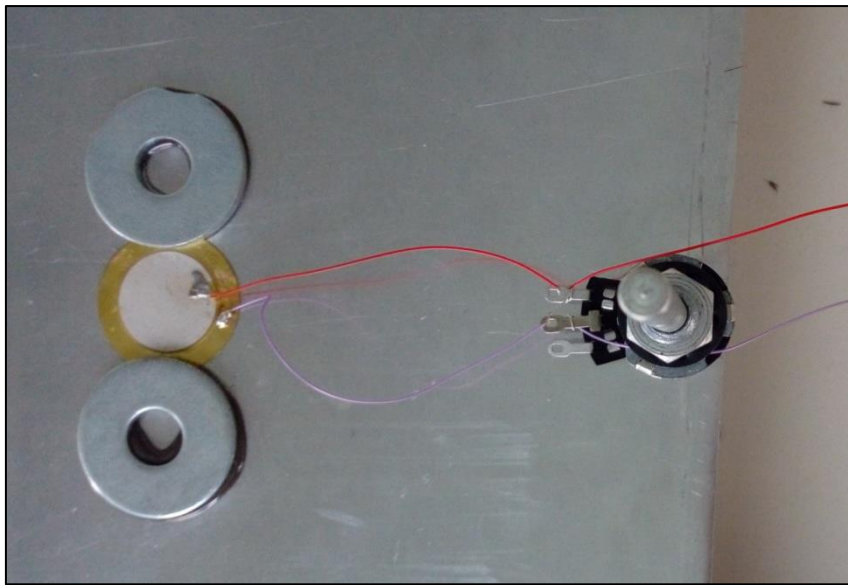
Βήμα 3°: Υπολογισμός Ρεύματος $I = V_{rms}/R$, όπου $R=0.1\text{Ohm}$.

Βήμα 4°: Ισχύς ηχείου $P_{rms} = V_{hxei} * I * \cos \varphi$ όπου $V_{hxei} = V_p(hxei)/\sqrt{2}$ και φ η διαφορά φάσης σημάτων(Δt) που προκύπτει και από τον τύπο $\Delta\Phi = \omega * \Delta t$. Η προσθήκη της αντίστασης παρουσιάζεται σχηματικά στο **Σχήμα 6.1**.



Σχήμα 6.1. Κύκλωμα υπολογισμού ισχύος πομπού

Οι μετρήσεις που αφορούν τον δέκτη (πιεζοηλεκτρικό) λαμβάνονται επίσης από τον παλμογράφο ο οποίος καταγράφει το σήμα. Οι τιμές που παίρνουμε από την κυματομορφή έχουν να κάνουν με την παραγόμενη τάση του δέκτη αλλά και την διαφορά φάσης σε σχέση με τον πομπό. Επειδή όμως και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την αντίσταση του δέκτη, για να υπολογίσουμε την ισχύ του θα χρειαστεί να συνδέσουμε μια μεταβλητή αντίσταση ώστε με την κατάλληλη ρύθμιση να υπολογίσουμε την ισχύ που προκύπτει από αυτόν(δέκτη). Η μεταβλητή αντίσταση από 0- 100kOhm συνδέεται στα άκρα του δέκτη όπως φαίνεται από το **Σχήμα 6.2** έτσι ώστε να επιτύχουμε την μεταφορά ισχύος από την κάψα στην αντίσταση.



Σχήμα 6.2. Σύνδεση μεταβλητής αντίστασης στον δέκτη για μεταφορά ισχύος.

Για τον υπολογισμό της ισχύος του δέκτη και της μεταφοράς ισχύος στην μεταβλητή αντίσταση ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

Υπολογισμός ισχύος του δέκτη

Βήμα1°: Τάση του δέκτη V_p από παλμογράφο χωρίς αντίσταση.

Βήμα2°: Σύνδεση και ρύθμιση μεταβλητής αντίστασης ώστε να πάρουμε στην έξοδο μισή τάση ($V_{np}=V_p/2$) του Βήματος1. Καταγραφή τιμής αντίστασης & τάσης.

Βήμα3°: Υπολογισμός ενεργούς τάσης $V_{n_{rms}} = V_{np}/\sqrt{2}$ στην αντίσταση.

Βήμα4°: Υπολογισμός ρεύματος $I_n = V_{n_{rms}}/R_e$ όπου R_e η μεταβλητή αντίσταση.

Βήμα5°: Ενεργός Ισχύς στην αντίσταση $P_{n_{rms}} = I_n^2 * R_e$.

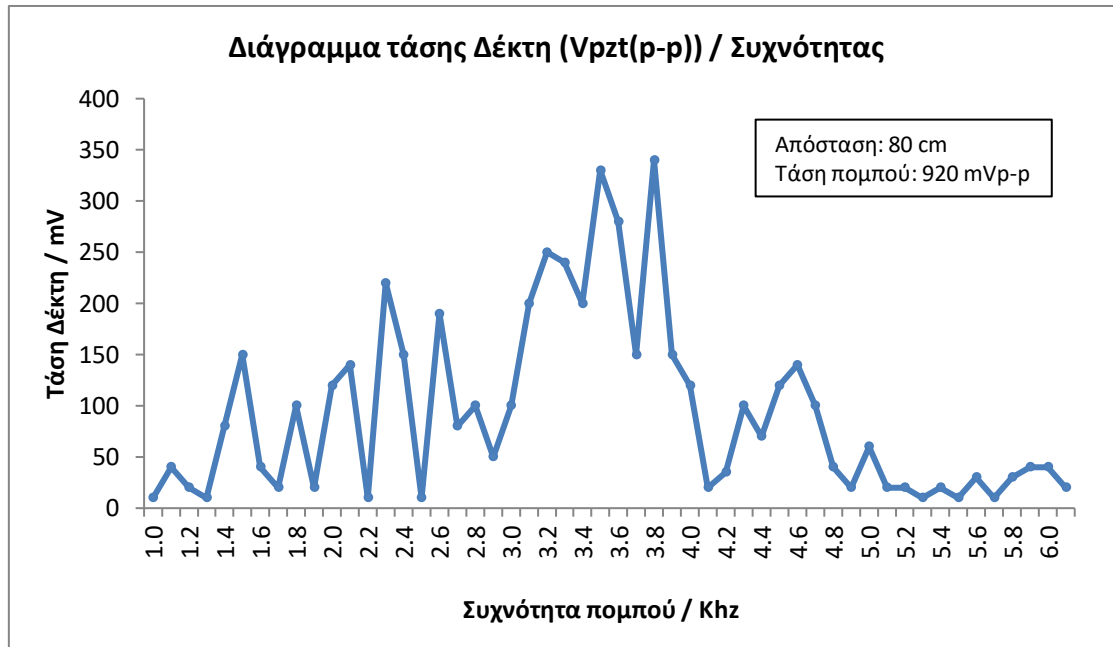
6.2 Πειραματικές μετρήσεις

Αρχικά, πήραμε δείγματα με σταθερή ένταση πομπού για διαφορετικές συχνότητες για να δούμε πως ανταποκρίνεται ο δέκτης. Στον **Πίνακα 6.2** παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις.

Καταγραφή τιμών πομπού και δέκτη σε ακουστικές συχνότητες						
Πομπός				Δέκτης		
Vr(p-p)	Vηχείου(p-p)	Dt	F(source)	Vpzt(p-p) χωρίς Re	Dt	Re(για μισή Vpzt(p-p))
mV	mV	ms	Hz	mV	ms	Ohm
13-16	700-920	0.03	0-1900	20	-	-
13	920	0.03	2000	120	0.2	2570
13	920	0.03	2100	140	0.15	2340
13	920	0.03	2200	10	0.22	6680
13	920	0.03	2300	220	0.09	2320
13	920	0.03	2400	150	0.03	1630
13	920	0.03	2500	10	0.05	5290
13	920	0.03	2600	190	0.14	2060
13	920	0.03	2700	80	0.04	2060
12	920	0.03	2800	100	0.13	1440
13	920	0.03	2900	50	0.06	1420
13	920	0.03	3000	100	0.125	1550
13	920	0.03	3100	200	0.005	1730
13	920	0.03	3200	250	0.05	1080
13	920	0.03	3300	240	0.05	1332
13	920	0.03	3400	200	0.065	1493
13	920	0.03	3450	330	0.125	1562
13	920	0.03	3500	280	0.11	1518
13	920	0.03	3600	150	0.05	1376
13	920	0.03	3700	340	0.03	1700
13	920	0.03	3800	150	0.1	1912
13	920	0.03	3900	120	0.04	2330
13	920	0.03	4000	20	0.1	1810
13	920	0.03	4100	35	0.08	1650
13	920	0.03	4200	100	0.02	1650
13	920	0.03	4300	70	0.05	1271
13	920	0.03	4400	120	0.02	1624
13	920	0.03	4500	140	0.07	1464
13	920	0.03	4600	100	0.06	1464
13	920	0.03	4700	40	0.005	1464
13	920	0.03	4800	0	0.104	1464
13	920	0.03	4900	60	0.07	1464
13	920	0.03	5000	20	0.01	1464
13	920	0.03	5100	20	0,04	1464
13-10	920-1250	0.03	5.2-2.2kHz	20	-	-

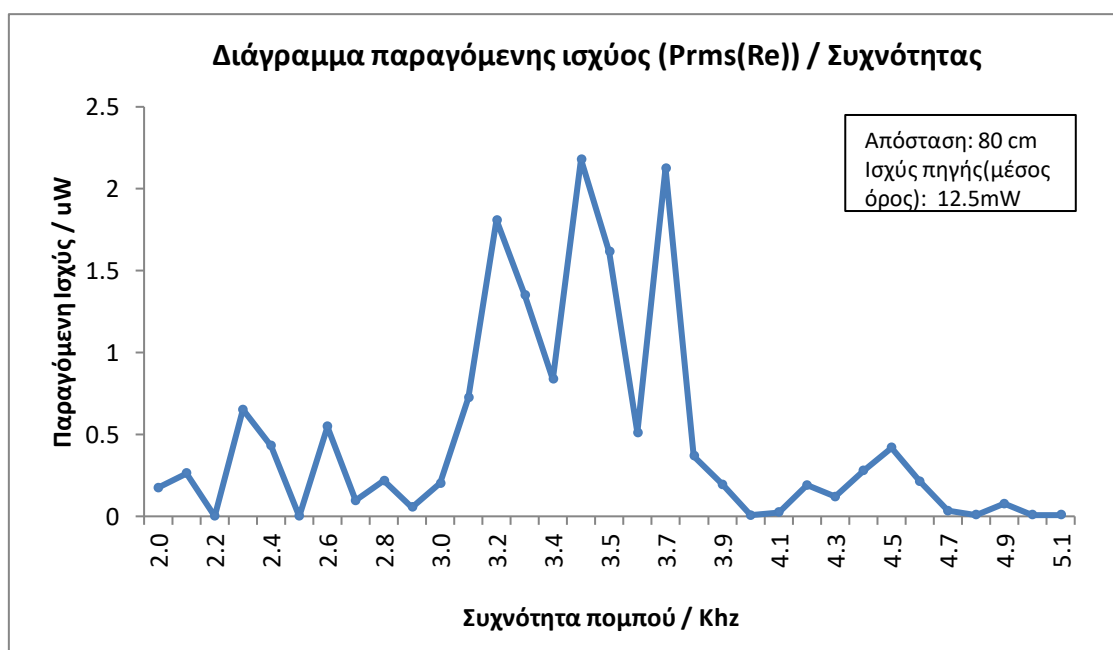
Πίνακας 6.2. Καταγραφή τιμών πομπού και δέκτη σε ακουστικές συχνότητες.

Στην καταγραφή των τιμών του **Πίνακα 6.2** οι τιμές των $V_r(p-p)$, $V_{ηχειου}(p-p)$ και D_t είναι σταθερές καθώς η ένταση του πομπού ήταν σταθερή και το στοιχείο που άλλαζε στον πομπό ήταν η συχνότητα $F(\text{source})$. Επίσης η τιμή της αντίστασης (R_e) προκύπτει για μισή $V_{pz}(p-p)$. Η απόσταση του πομπού από το δέκτη είναι σταθερή στα 80cm.



Διάγραμμα 6.1 Τάση PZT ($V_r(p-p)$) σε σχέση με τις συχνότητες σήματος.

Στο **Διάγραμμα 6.1** παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών των τάσεων του Πιεζοηλεκτρικού όπως προκύπτουν από τις κυματομορφές του χωρίς την χρήση της αντίστασης (R_e) για διάφορες συχνότητες της πηγής. Επίσης στο **Διάγραμμα 6.2** εμφανίζεται η ενεργός ισχύς P_{rms} που προκύπτει με την σύνδεση της αντίστασης (R_e) για διάφορες συχνότητες της πηγής.



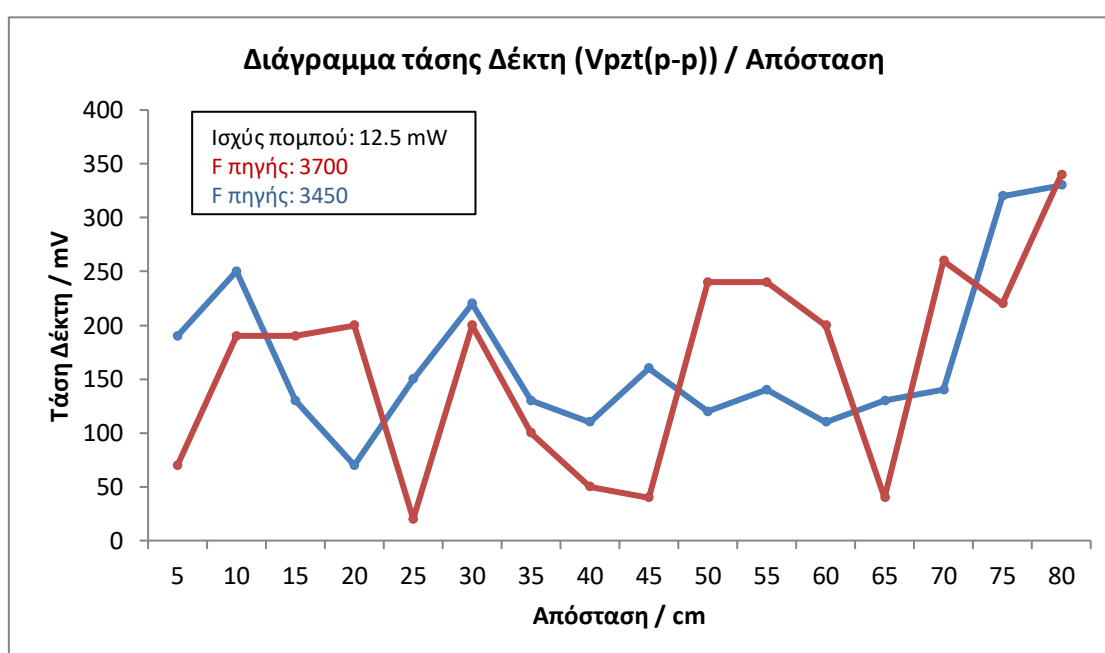
Διάγραμμα 6.2 Ενεργός ισχύς P_{rms} PZT σε σχέση με τις συχνότητες σήματος.

Στην συνέχεια, θα μελετήσουμε την συμπεριφορά του δέκτη σχετικά με την απόστασή του από τον πομπό για σταθερή ένταση και συχνότητα. Για να γίνει αυτό δοκιμάζουμε για διάφορες αποστάσεις και καταγράφουμε τις τιμές του δέκτη όπως φαίνεται και στο **Πίνακα 6.3**.

Καταγραφή τιμών δέκτη σε σχέση με την απόσταση του από τον πομπό				
Απόσταση (cm)	3700 (F πομπού)		3450 (F πομπού)	
	V _{p-p} Δέκτη(mV)	Dt δέκτη-πομπού(ms)	V _{p-p} Δέκτη(mV)	Dt δέκτη-πομπού(ms)
80	340	0.05	330	0.12
75	220	0.11	320	0.01
70	260	0.03	140	0.12
65	40	0.13	130	0.04
60	200	0.05	110	0.12
55	240	0.05	140	0.03
50	240	0.09	120	0.07
45	40	0.03	160	0.09
40	50	0.08	110	0.08
35	100	0.07	130	0.115
30	200	0.04	220	0.04
25	20	0.07	150	0.09
20	200	0.06	70	0.07
15	190	0.07	130	0.085
10	190	0.08	250	0.04
5	70	0.04	190	0.1

Πίνακας 6.3. Καταγραφή τιμών δέκτη σε σχέση με την απόσταση από τον πομπό .

Στην περίπτωση αυτή, έχουμε σταθερή ισχύ του ηχείου P_{source}=12.5 mW για δύο τιμές συχνότητας F_{πηγής}=3700 Hz & F_{πηγής}=3450 Hz, όπως παρουσιάζεται και στο αντίστοιχο **Διάγραμμα 6.3**.

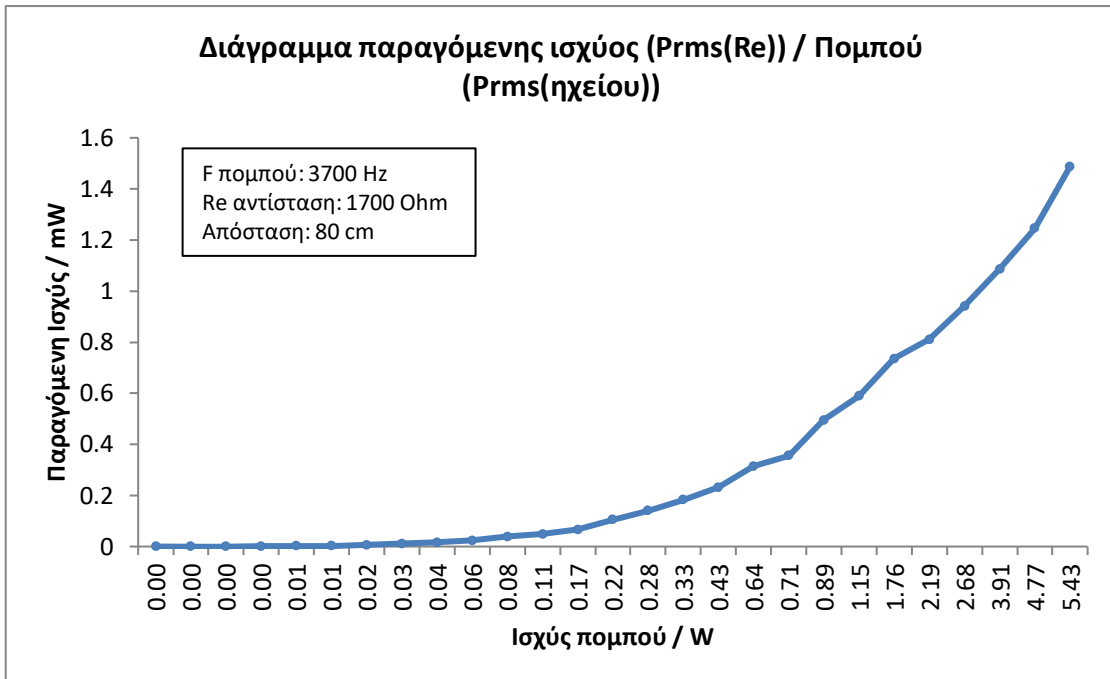


Διάγραμμα 6.3 Τάση PZT (V_{p-p}) σε σχέση με την απόσταση από τον πομπό.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει ήδη, φαίνεται πως για συγκεκριμένες συχνότητες ανταποκρίνεται καλύτερα ο δέκτης. Η συχνότητα των 3,7 kHz εντοπίστηκε η μεγαλύτερη τάση γι' αυτό θα καταγράψουμε τις τιμές του δέκτη για διάφορες εντάσεις του ηχείου όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 6.4** που ακολουθεί.

Καταγραφή τιμών δέκτη-πομπού για σταθερή συχνότητα 3700Hz				
Πομπός			Δέκτης	
V _r (p-p)	V _{ηχείου} (p-p)	Prms (ηχείου)	V _{pzt} (p-p)	Prms (Re)
mV	mV	mW	mV	mW
0	0	0	0	0
2	120	0.250818	45	3.72355E-05
3	240	0.7524539	120	0.000257981
5	440	2.2991646	200	0.00074094
8	680	5.685207	320	0.001918487
10	880	9.1966584	400	0.003020248
14	1200	17.557257	550	0.005637025
18	1600	30.098155	760	0.01065666
22	1900	43.684127	940	0.01628851
24	2200	55.17995	1130	0.023492152
30	2700	84.65106	1450	0.038831401
36	3000	112.86808	1640	0.049200718
44	3800	174.73651	1900	0.066313279
48	4400	220.7198	2400	0.105801394
56	4800	280.91611	2770	0.140852328
60	5200	326.06334	3150	0.182685759
68	6000	426.39052	3550	0.231952969
90	6800	639.58579	4130	0.313944517
90	7500	705.4255	4400	0.355523991
100	8500	888.31359	5200	0.495069464
110	10000	1149.5823	5660	0.588568148
140	12000	1755.7257	6320	0.735015022
150	14000	2194.6571	6640	0.811028019
160	16000	2675.3915	7160	0.941656181
170	22000	3908.5798	7690	1.08637119
190	24000	4765.5412	8230	1.246071608
200	26000	5434.389	9000	1.487038274

Πίνακας 6.4. Καταγραφή τιμών πομπού-δέκτη για σταθερή συχνότητα 3700Hz.



Διάγραμμα 6.4 Παραγόμενη Ισχύς στην αντίσταση σε σχέση με του πομπού.

Οι υπολογισμοί της ισχύς των πομπού-δέκτη προκύπτουν όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 6.1. Σε αυτή την περίπτωση τα στοιχεία που έχουν σταθερές τιμές είναι η αντίσταση $Re=1700 \text{ Ohm}$, η απόστασή τους 80 cm και η διαφορά φάσης. Στο **Διάγραμμα 6.4** η παραγόμενη ισχύς πάνω στον αντίσταση σε σχέση με του πομπού.

7 Συμπεράσματα

Οι τιμές της διερεύνησης που καταγράφηκαν αλλά και η διαδικασία του σχεδιασμού της διάταξης και υλοποίησής της μας οδηγούν σε διάφορα συμπεράσματα και διαπιστώσεις. Θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα της χρήσης της πιεζοηλεκτρικής κάψας ως δέκτη όπως και κάποια στοιχεία λειτουργίας της.

Αρχικά, συγκρίνοντας τα στοιχεία του **Πίνακα 6.2** με τον **Πίνακα 6.1** παρατηρούμε πως το εύρος των συχνοτήτων στο οποίο είναι αποδοτικό ταιριάζει με το εύρος όταν λειτουργεί ως πομπός. Το στοιχείο αυτό είναι πολύ χρήσιμο ως προς το σημείο λειτουργίας. Επίσης, παρατηρήθηκε πως η ακριβής συχνότητα συντονισμού εξαρτάτε άμεσα από την τοποθέτηση των καλωδίων στην κάψα καθώς αλλάζει το βάρος χωρίς να ξεφεύγει όμως από το εύρος που έχει καταγραφεί.

Ένα δεύτερο στοιχείο το οποίο παρατηρήθηκε έχει να κάνει με την συγκράτηση του πιεζοηλεκτρικού πάνω στην διάταξη. Ο συγκεκριμένος τρόπος (βλέπε **Σχήμα 5.4**) που επιλέχτηκε έχει το χαρακτήρα της συγκράτησης και όχι της σταθερής κόλλησης με αποτέλεσμα σε κάποιες φορές επανατοποθέτησης να μην έχει ακριβώς την ίδια απόδοση ως προς τις καθαρές τιμές τάσης. Το στοιχείο που δεν επιρρεάζεται από αυτή(συγκράτηση) είναι η ανταπόκριση της κάψας για κάθε συχνότητα δειγματοληψίας για την κατάρτηση των πινάκων. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση το **Πίνακα 6.2** παρατηρούμε πως για την απόσταση των 80cm η μεγαλύτερη τιμή σε $V_{pzt}(p-p)$ της κάψας προκύπτει στη συχνότητα των 3700 Hz. Όσες φορές και να τοποθετήσουμε την κάψα, η συχνότητα θα παραμένει η ίδια ακόμα και να αλλάξει η τιμή της τάσης. Αυτό γίνεται γιατί αν αλλάξει για παράδειγμα 5% κάτω, η πτώση αυτή θα φανεί σε όλες τις τιμές των μετρήσεων της τάσης με αποτέλεσμα να καταλείγουμε πάντα στο ίδιο συμπέρασμα ως προς την συχνότητα.

Το τρίτο στοιχείο το οποίο αντλούμε από το **Διάγραμμα 6.3** έχει να κάνει με την απόσταση του πιεζοηλεκτρικού από την πηγή. Παρόλο που έχουμε μόνο δύο περιπτώσεις αντιλαμβανόμαστε πως το πιεζοηλεκτρικό ανταποκρίνεται διαφορετικά σε διάφορες αποστάσεις. Επομένως, για κάθε τιμή της απόστασης αναμένουμε να είναι και διαφορετική η συχνότητα στην οποία θα λαμβάνουμε την υψηλότερη τιμή τάσης.

8 Επίλογος

Η διαδικασία της υλοποίησης της διάταξης αλλά και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διερεύνηση της πιεζοηλεκτρικής κάψας, μας ενισχύει την πεποίθηση πως τα πιεζοηλεκτρικά θα είναι μια πηγή ενέργειας για εφαρμογές. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου η αυτοτροφοδοτούμενη λειτουργία εφαρμογών αρχίζει να γίνεται όλο και πιο σημαντική είναι βέβαιο πως θα δώσουν πολλές λύσεις. Μια από αυτές τις περιπτώσεις είναι οι συρμοί των μετρό. Οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτές, ίσως μας επιτρέπουν να υλοποιήσουμε διατάξεις τέτοιου τύπου. Το σίγουρο είναι πως έχουμε πόλλα να μάθουμε ακόμα για την λειτουργία τους, γι' αυτό και η περαιτέρω διερεύνησή τους γίνεται ολοένα και πιο σημαντική.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καλυψώ Παπαϊωάννου, Κεφάλαιο Τ3. Ηχητικά κύματα, <https://docplayer.gr/4036826-Kefalaio-t3-ihitika-kyuata.html>, 2016, ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- [2] Wikipedia, Ταχύτητα του ήχου, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B1%CF%87%CF%8D%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%AE%CF%87%CE%BF%CF%85>
- [3] Μελιτσιώτης Δ., Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα, <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/A2.pdf> , Σελίδα 9
- [4] <https://slideplayer.gr/slide/1927040/>, 2015, σελίδα 4
- [5] Wikipedia, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%BD%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7%CE%AE%CF%87%CE%BF%CF%85>, 2020
- [6] Νίκος Σκιαδάς, Εισαγωγή στα χαρακτηριστικά των μικροφώνων, http://music-musictechnology.weebly.com/uploads/1/8/8/9/18893255/_pdf
- [7] Ζαφειράτος Ανδρέας, Συλλογή ενέργειας από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, <https://dias.library.tuc.gr/view/69792?locale=el> , 2017, σελίδα 21
- [8] https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/MiniSense_100.pdf
- [9] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/MSI-techman.pdf>
- [10] <https://www.murata.com/en-eu/products/sound/diaphragm>
- [11] <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1300926/0/0/1/ab2720b-lw100-r-drawing.html>
- [12] <https://olla.gr/ilouder-resonance-speaker-vibration-strong-bass-louderspeaker-all-frequency-horn-speakers-50mm-25-w/>
- [13] <https://www.smartkit.gr/hi-fi-amplifier-25w-m.html>
- [14] <https://www.smartkit.gr/power-supply-12v-2a.html>
- [15] <https://www.nch.com.au/tonegen/index.html>
- [16] Γερ. Κ. Παγιατάκης: Ηλεκτρονική (βασικά στοιχεία), ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΜΕ ΔΙΠΟΛΙΚΑ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ) , https://eclass.aspete.gr/modules/document/file.php/EHN225/ELECTRONICS_notes_04_power_amplifiers.pdf
- [17] Χ. ΤΣΩΝΟΣ, ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ, <http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/%20%CE%9A%CE%A5%CE%9A%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20%CE%95%CE%9A%CE%A0%CE%91%CE%99%CE%94%CE%95%CE%A5%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%20%CE%A5%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F.pdf>, 2013
- [18] Π.Γ.ΚΩΤΤΗΣ, ΔΙΑΜΩΡΦΟΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ, 2^Η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα,
- [19] Bestar acoustic, https://www.tme.eu/Document/5efc6c01301bc57aa7b1c90e0dc3e4ac/ft-27t-4_0a1.pdf