



INTERNATIONAL
HELLENIC
UNIVERSITY

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



Implementation Of a Multi-Frequency Acoustic Energy Collection Device

Παπανικολάου Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχάλης Κιζήρογλου

Θεσσαλονίκη 2021

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος και του φοιτητή. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το τμήμα του ΔιΠαΕ.

Η έγκριση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ο υπογεγραμμένος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρόπυσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Παπανικολάου Γεώργιος, 19/04/2021



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η υλοποίηση κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης, όπου χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα στον οποίον όταν ασκηθούν επάνω του διάφορες ακουστικές συχνότητες, αναπτύσσει τάση στα άκρα του, έτσι ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί συγκομιδή ενέργειας. Για να υλοποιηθεί η έρευνα χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί αισθητήρες, κατασκευασμένοι από το υλικό PVDF, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως ως αισθητήρες πίεσης και ταλαντώνονται σε χαμηλές συχνότητες. Για την ηλεκτρονική διάταξη χρησιμοποιήθηκε αρχικά ένα κύκλωμα διόδου-πυκνωτή ώστε να μετρηθεί η τάση που παράγεται στα άκρα του πυκνωτή. Στη συνέχεια του πειράματος, το κύκλωμα αναβαθμίστηκε σε κύκλωμα διπλασιαστή τάσης (voltage doubler) έτσι ώστε να επιταχύνεται η φόρτιση του πυκνωτή. Στην πρώτη φάση του πειράματος πραγματοποιήσαμε μετρήσεις χρησιμοποιώντας τον έναν αισθητήρα, και χτυπώντας τον με το δάκτυλο αναπτύχθηκε τάση στα άκρα του, φορτίζοντας τον πυκνωτή. Στη συνέχεια επαναλήφθηκε η διαδικασία χρησιμοποιώντας τον διπλασιαστή τάσης. Για να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ένα ηχείο ηλεκτρονικού υπολογιστή των 5 Watt, στο οποίο αναπαραγάγαμε ηχητικές συχνότητες και σχεδόν ακουμπώντας τον αισθητήρα στη μεμβράνη του, καταφέραμε να ταλαντώσουμε τον αισθητήρα ώστε να παράγουμε τάση στα άκρα του, και στη συνέχεια να τη συλλέξουμε. Στο τελευταίο στάδιο της πειραματικής μας διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ένα ηχείο των 90 Watt και έχοντας τον αισθητήρα σε απόσταση 55mm από το κέντρο της μεμβράνης, και καθώς είχαμε παρέμβει επάνω στον αισθητήρα μεγαλώνοντας την επιφάνειά του ώστε να μεγεθύνουμε τη δύναμη που ασκείται πάνω του, αναπαραγάγαμε διάφορες ακουστικές συχνότητες και καταγράψαμε τις μετρήσεις που πήραμε. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά όλες οι διαδικασίες που έγιναν καθώς και τα συμπεράσματά μας σχετικά με την έρευνα που διεξήχθη.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the implementation of an energy harvesting electronic device, using a sensor which vibrates on different acoustic frequencies. In order to achieve this we used two different sensors, made from PVDF, which are commonly used as pressure sensors and have a low resonance frequency. For the electronic device, we firstly used simple diode-capacitor circuit in order to harvest energy at the capacitor. The device was later updated to a voltage doubler circuit in order to charge the capacitor faster than using a diode-capacitor circuit. At first, we used a finger strike to vibrate the sensor and charge the capacitor. At the next stage of the experiment, we used a common 5 Watt PC speaker in order to automate the process, and by playing different acoustic frequencies we vibrated the sensor by contacting it to the speaker's membrane. At the last stage of the experiment, we used a 90 Watt speaker, and by adjusting the surface of the sensor, we measured the wattage at the capacitor for different acoustic frequencies and different sizes of the sensor's surface, having the sensor at distance of 55mm from the speaker's membrane. At the next chapters, we explain analytically all the procedures and the measurements we did, and also our conclusions for the effectiveness of the electronic device.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου, Βερόνικα, για τη στήριξη και τη βοήθειά της, τους γονείς μου, Στυλιανό και Χρυσούλα, για την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια και τις αδερφές μου, Αμαλία και Αναστασία, που βρίσκονται πάντα στο πλευρό μου. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου, Μιχάλη Κιζήρογλου, για όλες τις υποδείξεις, την καθοδήγηση και τη βοήθεια ώστε να έρθει εις πέρας αυτή η πτυχιακή εργασία. Αφιερώνεται στη Μελίνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή.....	8
1.1 Σκοπός της έρευνας.....	8
1.2 Πλάνο εργασίας.....	8
1.3 Τι είναι ένας αισθητήρας;.....	8
1.4 Τι είναι η ηλεκτρική διάταξη;.....	9
1.5 Τι είναι η συχνότητα – ακουστική συχνότητα;.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Γνωριμία με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	10
2.1 Οι αισθητήρες.....	10
2.1.1 Ανάλυση απλού ταλαντωτή.....	10
2.1.2 Ανάλυση του αισθητήρα Minisense 100-LDTC-V.....	12
2.1.3 Ανάλυση του αισθητήρα LDT0-028K.....	14
2.2 Η Δίοδος Schottky.....	15
2.2.1 Η Ιδανική Δίοδος.....	15
2.2.2 Ιδιότητες Διόδου Schottky.....	16
2.3 Οι πυκνωτές.....	16
2.3.1 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Πειραματική Διαδικασία.....	18
3.1 Υλοποίηση κατάλληλης διάταξης.....	18
3.1.1 Κύκλωμα διόδου-πυκνωτή.....	18
3.1.2 Κύκλωμα Διπλασιαστή Τάσης.....	18
3.2 Πρώτη πειραματική διαδικασία: Διάταξη διόδου-πυκνωτή και μέτρηση με τη χρήση Arduino Uno.....	19
3.2.1 Μετρήσεις πρώτης πειραματικής διαδικασίας.....	20
3.2.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας.....	21
3.3 Δεύτερη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διόδου-Πυκνωτή και μετρήσεις με τη χρήση παλμογράφου.....	21
3.3.1 Μετρήσεις δεύτερης πειραματικής διαδικασίας.....	21
3.3.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας.....	22
3.4 Τρίτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάσης.....	22
3.4.1 Μετρήσεις τρίτης πειραματικής διαδικασίας.....	23
3.4.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας.....	24
3.5 Τέταρτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάση και χρήση ηχείου Η/Υ των 5W.....	24
3.5.1 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 0,47μF – 47 μF.....	25
3.5.2 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 1μF – 47μF.....	27
3.5.3 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 2,2μF – 47μF.....	28
3.5.4 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 47μF – 0,47μF.....	30
3.5.5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας.....	31

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

3.6 Πέμπτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάσης, μετρήσεις με την χρήση ηχείου 90W και αισθητήρα σε σταθερό σημείο.....	31
3.6.1 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 50Hz.....	33
3.6.2 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 60Hz.....	35
3.6.3 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 70Hz.....	36
3.6.4 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 80Hz.....	37
3.6.5 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 90Hz.....	38
3.6.6 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 100Hz.....	39
3.6.7 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 110Hz.....	40
3.6.8 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 120Hz.....	41
3.6.9 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις	44
4.1 Τελικά συμπεράσματα.....	44
4.1.1 Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη διάταξη;.....	44
4.2 Προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.....	45
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βοηθητικά προγράμματα.....	46
A.1 Χρήση μικροελεγκτή Arduino Uno ως παλμογράφο.....	46
A.1.1 Γιατί να χρησιμοποιήσω έναν Arduino Uno ως παλμογράφο;.....	46
A.1.2 Οδηγός για τη χρήση του Arduino Uno ως παλμογράφο.....	46
A.2 Γεννήτρια συχνοτήτων ήχου.....	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	52
B.1 Πίνακες πρώτης πειραματικής διαδικασίας.....	52
B.2 Πίνακες δεύτερης πειραματικής διαδικασίας.....	53
B.3 Πίνακες τρίτης πειραματικής διαδικασίας.....	54
B.4 Πίνακες τέταρτης πειραματικής διαδικασίας.....	56
B.4.1 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 0,47μF – 47 μF.....	56
B.4.2 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 1μF – 47μF.....	57
B.4.3 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 2,2μF – 47μF.....	59
B.4.4 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 47μF – 0,47μF.....	60
B.5 Πίνακες πέμπτης πειραματικής διαδικασίας.....	61
B.5.1 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 50Hz.....	61
B.5.2 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 60Hz.....	62
B.5.3 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 70Hz.....	63
B.5.4 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 80Hz.....	64
B.5.5 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 90Hz.....	65
B.5.6 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 100Hz.....	66
B.5.7 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 110Hz.....	68
B.5.8 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 120Hz.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της έρευνας

Στόχος αυτής της ερευνητικής εργασίας είναι η υλοποίηση κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης με σκοπό την συγκομιδή ηλεκτρικής ενέργειας από έναν αισθητήρα, ο οποίος ταλαντώνεται σε διάφορες ακουστικές συχνότητες. Σκοπός της συγκεκριμένης διάταξης είναι να μπορέσουμε να μελετήσουμε αν μπορούμε να περισυλλέξουμε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του θορύβου που δημιουργείται σε διάφορες συνθήκες, όπως για παράδειγμα, το θόρυβο ενός κινητήρα αυτοκινήτου.

1.2 Πλάνο εργασίας

Το πλάνο εργασίας, όπως ορίστηκε σε συνεργασία με τον υπεύθυνο καθηγητή, παρουσιάζεται παρακάτω.

- Φεβρουάριος 2020: Ανάθεση πτυχιακής εργασίας.
- Μάρτιος 2020: Αναζήτηση κατάλληλων υλικών.
- Απρίλιος 2020: Αγορά υλικών και υλοποίηση πρώτων πειραμάτων.
- Μάιος 2020: Έρευνα και υλοποίηση κατάλληλης διάταξης για την συγκομιδή ενέργειας.
- Ιούνιος – Αύγουστος 2020: Συγγραφή πρώτων αποτελεσμάτων και ανάλυσή τους.
- Σεπτέμβριος 2020 – Φεβρουάριος 2021: Συνέχεια πειραμάτων με διάφορες υλοποιήσεις.
- Μάρτιος – Απρίλιος 2021: Συγγραφή πτυχιακής εργασίας και παρουσίαση.

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας υπήρχαν κάποια διαστήματα, όπου λόγω του γενικού lockdown που είχε επιβληθεί πανελλαδικά, λόγω της πανδημίας του COVID-19, δεν είχαμε πρόσβαση στα εργαστήρια του ιδρύματος ώστε να γίνουν τα κατάλληλα πειράματα, αλλά και δεν υπήρχε τρόπος να γίνει άμεση αγορά υλικών που χρειάζονταν διότι πολλά καταστήματα ήταν κλειστά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση και τροποποίηση του αρχικού πλάνου εργασίας, όπου ο στόχος ήταν να υλοποιηθεί η εργασία στο πρώτο εξάμηνο ανάθεσής της.

1.3 Τι είναι ένας αισθητήρας:

Με τον όρο αισθητήρα εννοούμε τη συσκευή η οποία έχει την ιδιότητα να μετατρέπει μία φυσική μεταβλητή, όπως π.χ. η πίεση, η υγρασία, η θερμοκρασία, σε μία ηλεκτρική τάση. Αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών, από απλές καθημερινές

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

οικιακές συσκευές μέχρι στις πιο εξελιγμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι αισθητήρες μετατρέπουν το φυσικό μέγεθος που δέχεται σαν είσοδο σε μετρήσιμη έξοδο. Έτσι με διάφορα μέσα, όπως ένας παλμογράφος ή ένα βολτόμετρο, μπορούμε να καταλάβουμε τις μεταβολές του φυσικού μεγέθους. Στην περίπτωση της έρευνάς μας χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι δεχόντουσαν πίεση από τις ακουστικές συχνότητες που αναπαρήγαμε και τη μετέτρεπαν σε μετρήσιμη τάση.

1.4 Τι είναι η ηλεκτρική διάταξη;

Με τον όρο ηλεκτρική διάταξη εννοούμε οποιοδήποτε ηλεκτρικό, ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο άγεται από ηλεκτρικό ρεύμα και έχει κάποιον σκοπό. Στη περίπτωση μας, ως ηλεκτρική διάταξη εννοούμε το κύκλωμα που εξυπηρετεί τον σκοπό μας, ο οποίος είναι να συλλέξουμε ενέργεια από τον αισθητήρα.

1.5 Τι είναι η συχνότητα – ακουστική συχνότητα;

Με τον όρο συχνότητα ονομάζουμε το πόσες φορές επαναλαμβάνεται ένα γεγονός συναρτήσει του χρόνου. Ως συχνότητα χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος επαναλαμβάνει τις ίδιες τιμές ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ακουστική συχνότητα εννοούμε την μεταβολή τιμών του ήχου. Η συχνότητα μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση $f = \frac{1}{T}$ όπου T είναι η περίοδος επαναλήψεων. Η συχνότητα μετριέται σε Hz (Hertz).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Γνωριμία με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση των υλικών όπου χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

2.1 Οι αισθητήρες

Για να μπορέσουμε να συλλέξουμε ενέργεια από ακουστικές συχνότητες χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικούς αισθητήρες. Κατασκευασμένοι και οι δύο από την measurement specialties είναι αισθητήρες πίεσης με πολύ χαμηλό κόστος, οι οποίοι είναι αρκετά ευαίσθητοι σε χαμηλές συχνότητες. Είναι κατασκευασμένοι από το υλικό PVDF. Όταν δημιουργηθούν δονήσεις στην επιφάνειά τους, τότε αναπτύσσεται τάση στους ακροδέκτες τους. Η τάση που δημιουργείται εξαρτάται από τη συχνότητα ταλάντωσης. Όταν ταλαντώνονται στη συχνότητα συντονισμού, τότε παρουσιάζεται η μέγιστη τάση στα άκρα τους. Η κύρια διαφορά των δύο αισθητήρων είναι η συχνότητα συντονισμού τους. Αυτοί οι αισθητήρες βρίσκουν συνήθως εφαρμογή σε ηλεκτρικά πλυντήρια για τον έλεγχο του βάρους και της κίνησης, αισθητήρες κίνησης σε οχήματα, αντικλεπτικά συστήματα κ.α.



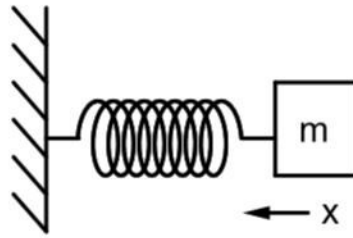
Εικόνα 2.1: Αισθητήρας MiniSense 100 - LDTC-V



Εικόνα 2.2: Αισθητήρας LTD0-028K

2.1.1 Ανάλυση απλού ταλαντωτή

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την ταλάντωση των αισθητήρων μας θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε την ταλάντωση ενός αντικειμένου γύρω από μια θέση με σταθερή ισορροπία.



Σχήμα 2.1: Ταλαντωτής μάζας m

Ένα σώμα μάζας m , το οποίο εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση περιγράφεται από τον τύπο:

$$x = x_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

όπου x η απομάκρυνση του σώματος και x_0 το πλάτος της ταλάντωσης.

Η ταχύτητα του σώματος προκύπτει από την παράγωγο του τύπου (1):

$$\dot{x} = x_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad (1.2)$$

Η επιτάχυνση βρίσκεται από την παράγωγο της ταχύτητας:

$$\alpha = \ddot{x} = -x_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad (1.3)$$

Η συνολική δύναμη (F) που δέχεται ένα σώμα περιγράφεται από τον τύπο:

$$F = m\alpha \quad (1.4)$$

Από τις σχέσεις (1.4) και (1.3) προκύπτει ότι:

$$F = -m x_0 \omega^2 \sin(\omega t) \quad (1.5)$$

Επειδή $x = x_0 \sin(\omega t)$ η σχέση (1.5) γίνεται:

$$F = -m\omega^2 x \quad (1.6)$$

Αν συμβολίσουμε με k το $m\omega^2$ τότε προκύπτει:

$$F = -kx \quad (1.7)$$

όπου k η σταθερά επαναφοράς τους ελατηρίου.

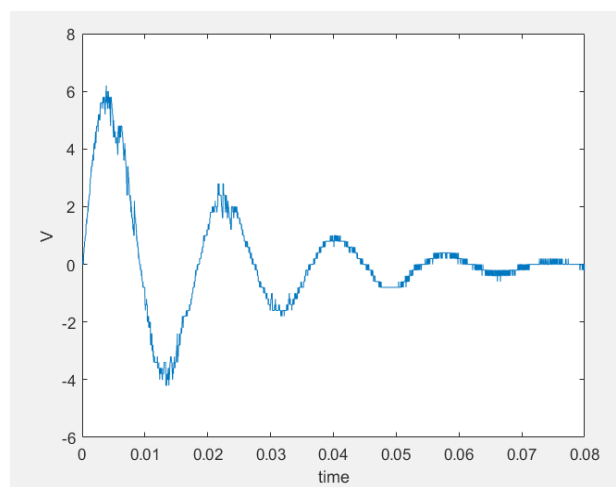
Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Εφόσον $k=m\omega^2$, τότε αν γνωρίζουμε τη σταθερά του ελατηρίου μπορούμε να βρούμε και τη συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται το σώμα με τον τύπο $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (1.8)

Από την παραπάνω ανάλυση καταλαβαίνουμε ότι η συχνότητα του σώματος εξαρτάται άμεσα από το υλικό του και τη μάζα του.

2.1.2 Ανάλυση του αισθητήρα Minisense 100-LDTC-V

Για να κατανοήσουμε πως ταλαντώνεται ο αισθητήρας χρησιμοποιήσαμε έναν παλμογράφο, και αφού χτυπήσαμε ελαφρά τον αισθητήρα είδαμε την απόκρισή του.



Διάγραμμα 2.1: Απόκριση του αισθητήρα Minisense 100-LDTC-V

Παρατηρούμε ότι ο αισθητήρας μας, όταν ασκηθεί μία δύναμη επάνω του, ταλαντώνεται και στη συνέχεια αποσβένει ώσπου να έρθει ξανά σε ισορροπία. Ο ρυθμός απόσβεσης περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}} \quad (2)$$

Όπου:

- ζ : Ο συντελεστής απόσβεσης
- δ : Η λογαριθμική μείωση δύο κορυφών

Το δ μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο

$$\delta = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{\chi(t)}{\chi(t+nT)}\right) \quad (2.1)$$

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Όπου:

- $\chi(t)$: η μεγαλύτερη τιμή τη χρονική στιγμή t
- $\chi(t+nT)$: η μεγαλύτερη τιμή n περιόδους μακρύτερα, όπου n είναι οποιοσδήποτε ακέραιος αριθμός διαδοχικών, θετικών αριθμών.

Στις μετρήσεις του αισθητήρα μας έχουμε τις παρακάτω τιμές:

➤ $P_1=6,2V$ τη χρονική στιγμή $t_1=3,83 \cdot 10^{-3}s$ (2.2)

➤ $P_2=2,8V$ τη χρονική στιγμή $t_2=21,71 \cdot 10^{-3}s$ (2.3)

➤ $n=1$ εφόσον οι κορυφές είναι συνεχόμενες (2.4)

Άρα η σχέση (2.1) μέσω των (2.2), (2.3), (2.4) θα γίνει:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{\chi(t)}{\chi(t+nT)}\right) \Rightarrow \delta = \frac{1}{1} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \Rightarrow \delta = \ln\left(\frac{6,2}{2,8}\right) \Rightarrow \delta = 0,7949 \quad (2.5)$$

Άρα ο συντελεστής απόσβεσης θα είναι:

$$(2) \Rightarrow \zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}} \stackrel{(2.5)}{=} 0,1255 \quad (2.6)$$

Όταν $0 < \zeta < 1$ τότε σημαίνει ότι έχουμε ταλάντωση με απόσβεση.

Η συχνότητα της απόσβεσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_d = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_2 - t_1} = 55,92 \text{ Hz} \quad (2.7)$$

Η φυσική συχνότητα του συστήματος είναι:

$$f_n = \frac{f_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = \frac{52,38}{\sqrt{1 - (0,1255^2)}} = 56,37 \text{ Hz} \quad (2.8)$$

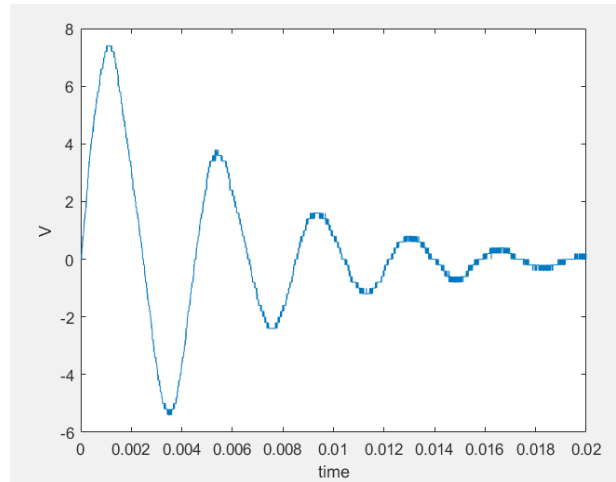
Γνωρίζοντας την μάζα (0.6 gram) του αισθητήρα από το datasheet της κατασκευάστριας εταιρίας μπορούμε να υπολογίσουμε και την σταθερά του ελατηρίου.

$$(1.8) \Rightarrow k = m \cdot \omega^2 \Rightarrow k = m \cdot (2\pi f_n)^2 = 75,2 \text{ N/m} \quad (2.9)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις συμπεραίνουμε ότι αν αλλάξουμε τη μάζα του αισθητήρα αλλάζουμε και τη συχνότητα ταλάντωσης με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικές τάσεις εξόδου.

2.1.3 Ανάλυση του αισθητήρα LDT0-028K

Η ίδια διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε στον αισθητήρα Minisense_100-LDTC-V, ακολουθήθηκε και στον αισθητήρα LDT0-028K. Συνδέσαμε τον αισθητήρα με έναν παλμογράφο και χτυπώντας τον ελαφρά παρατηρήσαμε την απόκρισή του.



Διάγραμμα 2.2: Απόκριση του αισθητήρα LDT0-028K

Παρατηρούμε ότι ο αισθητήρας μας, όταν ασκηθεί μία δύναμη επάνω του, ταλαντώνεται και στη συνέχεια αποσβένει ώσπου να έρθει ξανά σε ισορροπία.

Στις μετρήσεις του αισθητήρα μας έχουμε τις παρακάτω τιμές:

➤ $P_1 = 7,4V$ τη χρονική στιγμή $t_1 = 1,01 \cdot 10^{-3} s$ (2.10)

➤ $P_2 = 3,8V$ τη χρονική στιγμή $t_2 = 5,32 \cdot 10^{-3} s$ (2.11)

➤ $n=1$ εφόσον οι κορυφές είναι συνεχόμενες (2.12)

Άρα η σχέση (2.1) μέσω των (2.2), (2.3), (2.4) θα γίνει:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln\left(\frac{\chi(t)}{\chi(t+nT)}\right) \Rightarrow \delta = \frac{1}{1} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \Rightarrow \delta = \ln\left(\frac{7,4}{3,8}\right) \Rightarrow \delta = 0,6665 \quad (2.13)$$

Άρα ο συντελεστής απόσβεσης θα είναι:

$$(2) \Rightarrow \zeta = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}} \stackrel{(2,13)}{=} 0,1055 \quad (2.14)$$

Όταν $0 < \zeta < 1$ τότε σημαίνει ότι έχουμε ταλάντωση με απόσβεση.

Η συχνότητα της απόσβεσης υπολογίζεται από τον τύπο:

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

$$F_d = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_2 - t_1} = 232,01 \text{ Hz} \quad (2.15)$$

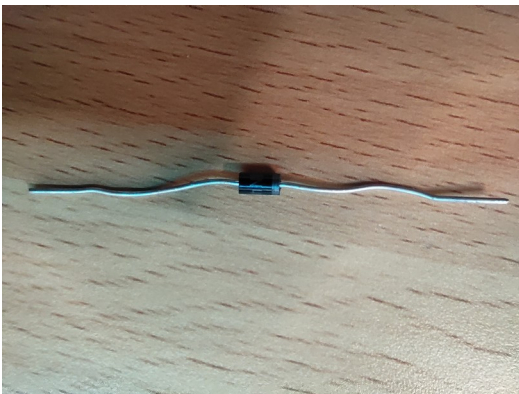
Η φυσική συχνότητα του συστήματος είναι:

$$f_n = \frac{f_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = \frac{231,01}{\sqrt{1 - (0,1055^2)}} = 233,32 \text{ Hz} \quad (2.16)$$

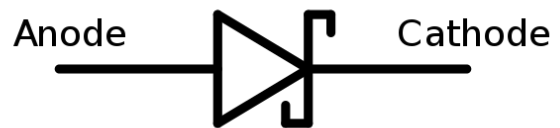
Από τις παραπάνω εξισώσεις συμπεραίνουμε ότι αν αλλάξουμε τη μάζα του αισθητήρα αλλάζουμε και τη συχνότητα ταλάντωσης με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικές τάσεις εξόδου.

2.2 Η Δίοδος Schottky

Για την υλοποίηση της διάταξης χρησιμοποιήσαμε διόδους τύπου Schottky. Οι διόδους Schottky χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου χρειάζεται γρήγορη εναλλαγή μεταξύ των καταστάσεων, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές



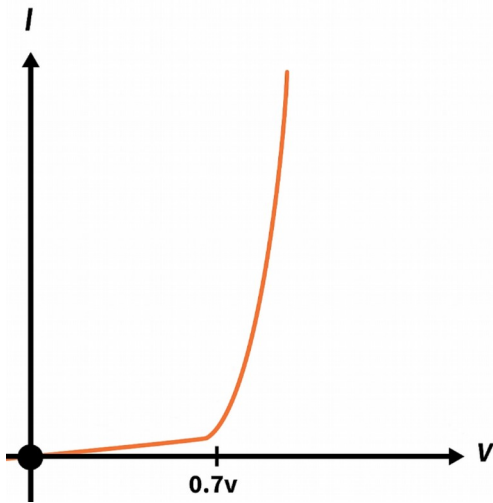
Εικόνα 2.3: Δίοδος Schottky



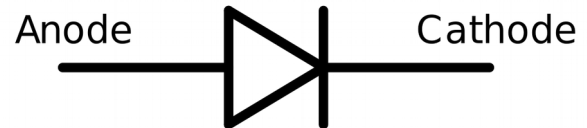
Εικόνα 2.4: Σύμβολο Διόδου Schottky

2.2.1 Η Ιδανική Δίοδος

Σκοπός μιας διόδου είναι να άγει αρκετά όταν είναι πολωμένη και να άγει ελάχιστα όταν είναι ανάστροφα πολωμένη. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως ένας διακόπτης, ο οποίος έχει άπειρη αντίσταση όταν είναι ανοικτός και μηδενική όταν είναι κλειστός. Η τάση στην οποία ξεκινάει να άγει μία δίοδος ονομάζεται τάση καμπής. Οι διόδους πυριτίου έχουν τάση καμπής περίπου στα 0,7V.



Διάγραμμα 2.3: Γραφική παράσταση διόδου πυριτίου



Εικόνα 2.5: Σύμβολο διόδου πυριτίου

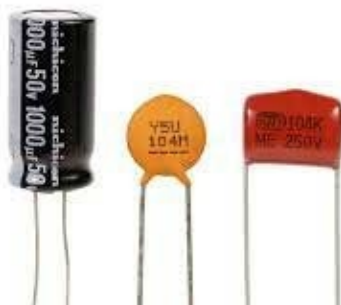
Όπως βλέπουμε στο Διάγραμμα 2.3, όταν η τάση φτάσει στο σημείο καμπής τότε η δίοδος ξεκινάει να άγει και το ρεύμα που περνάει είναι θεωρητικά άπειρο.

2.2.2 Ιδιότητες Διόδου Schottky

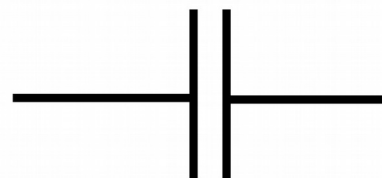
Ο λόγος ο οποίος επιλέχθηκαν διόδοι Schottky σε σχέση με τις υπόλοιπες είναι ότι έχουν σημείο καμπής στα 0.25V έναντι των 0.7V των διόδων πυριτίου. Αυτό μας δίνει πλεονέκτημα στη διάταξή μας καθώς χάνουμε λιγότερη τάση. Επίσης, οι διόδοι schottky λειτουργούν πολύ καλύτερα στις υψηλές συχνότητες σε σχέση με τις συνηθισμένες διόδους.

2.3 Οι πυκνωτές

Ένας πυκνωτής είναι ένα αρκετά διαδεδομένο ηλεκτρονικό στοιχείο, το οποίο έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο.



Εικόνα 2.6: Διάφοροι πυκνωτές



Εικόνα 2.7: Σύμβολο πυκνωτή

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή ορίζεται ως το πηλίκο του φορτίου προς την τάση.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

όπου Q το φορτίο του πυκνωτή και V η τάση του και μονάδα μέτρησης είναι το *Farad* (F). Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι σταθερή και εξαρτάται καθαρά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Η χωρητικότητα βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών δίνεται από τον τύπο:

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (3.1)$$

όπου:

ε : η σχετική διηλεκτρική σταθερά

ε_0 : η απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού με σταθερή τιμή

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

A : το εμβαδόν των οπλισμών

d : η απόσταση μεταξύ των οπλισμών

Η ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στον πυκνωτή περιγράφεται από τον τύπο:

$$U_e = \frac{1}{2} C \cdot V_c^2 \Leftrightarrow U_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \Leftrightarrow U_e = \frac{1}{2} Q \cdot V_c \quad (3.2)$$

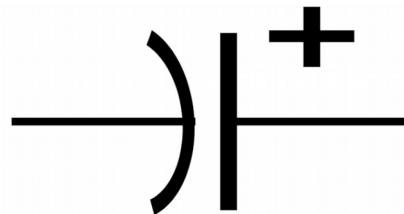
και μετριέται σε Joule (J).

2.3.1 Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Για τη διάταξή μας χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Η ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους πυκνωτές.



Εικόνα 2.8: Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής

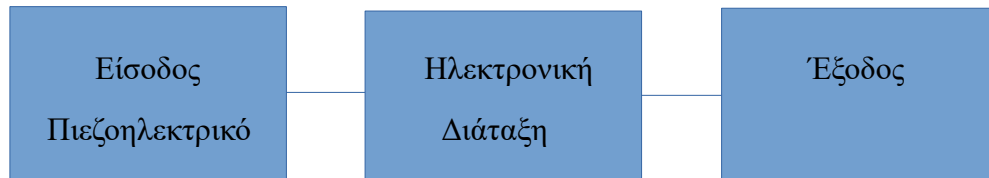


Εικόνα 2.9: Σύμβολο ηλεκτρολυτικού πυκνωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Πειραματική Διαδικασία

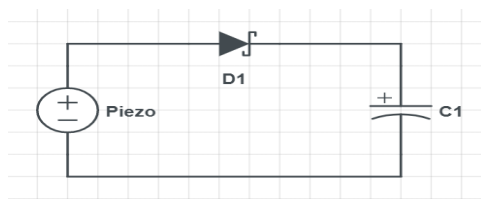
3.1 Υλοποίηση κατάλληλης διάταξης.

Για τις πρώτες μετρήσεις του πειράματός μας, χρειαζόμαστε μια κατάλληλη διάταξη με την οποία θα μπορούσαμε να συλλέξουμε ενέργεια στον πυκνωτή.

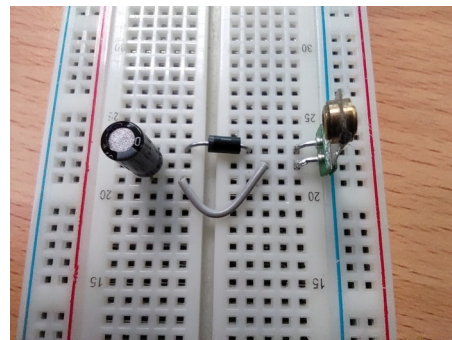


3.1.1 Κύκλωμα διόδου-πυκνωτή

Το πρώτο κύκλωμα το οποίο επιλέξαμε ώστε να ξεκινήσουμε τις μετρήσεις ήταν το κύκλωμα διόδου-πυκνωτή.



Κύκλωμα 3.1: Κύκλωμα διόδου-πυκνωτή



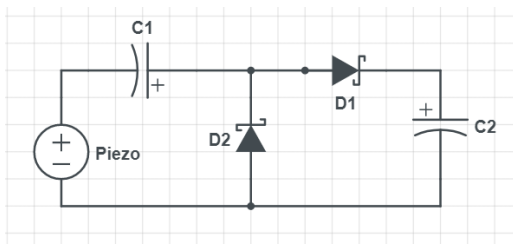
Φωτογραφία 3.1: Κύκλωμα διόδου-Πυκνωτή

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο κύκλωμα είναι ότι είναι το πιο απλό κύκλωμα αποθήκευσης ενέργειας σε έναν πυκνωτή. Το ρεύμα από τον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα περνάει μέσα από την διόδο D1 στον πυκνωτή C1 και τον φορτίζει. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι ότι όταν ο αισθητήρας δίνει τάση από τον αρνητικό οπλισμό του, τότε αυτή η τάση χάνεται.

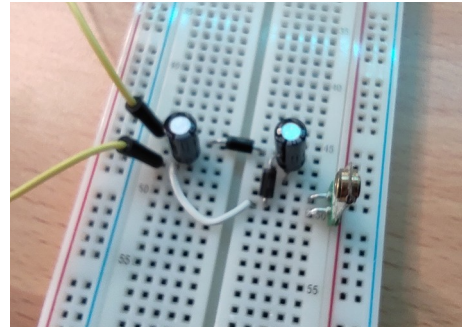
3.1.2 Κύκλωμα Διπλασιαστή Τάσης

Για να μπορέσει να εξαλειφθεί το πρόβλημα που αναφέρεται παραπάνω, στη πορεία των πειραμάτων χρησιμοποιήσαμε το κύκλωμα διπλασιαστή τάσης. Με αυτή τη διάταξη καταφέρνουμε διπλάσια DC τάση εξόδου και έτσι ο πυκνωτής μας φορτίζεται ταχύτερα από ότι στο κύκλωμα διόδου-πυκνωτή.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



Κύκλωμα 3.2: Κύκλωμα διπλασιαστή τάσης

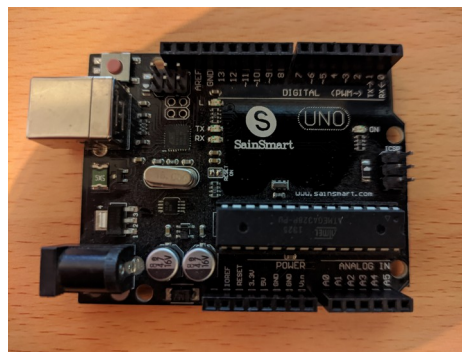


Φωτογραφία 3.2: Κύκλωμα διπλασιαστή τάσης

Εφόσον το πιεζοηλεκτρικό ταλαντώνεται, παράγει ημιτονοειδή τάση, όπως ακριβώς το εναλλασσόμενο ρεύμα. Όταν βρισκόμαστε στη θετική ημιπερίοδο, τότε η δίοδος D1 άγει και φορτίζει τον πυκνωτή C2. Στην αρνητική ημιπερίοδο άγει η δίοδος D2 και φορτίζεται ο πυκνωτής C1. Το ρεύμα που αποθηκεύεται στον πυκνωτή C1 φορτίζει με τη σειρά του τον C2. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να φορτίσουμε τον πυκνωτή C2 ταχύτερα.

3.2 Πρώτη πειραματική διαδικασία: Διάταξη διόδου-πυκνωτή και μέτρηση με τη χρήση Arduino Uno

Στη πρώτη φάση του πειράματος χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα Minisense 100-LDTC-V συνδεδεμένο με το κύκλωμα διόδου-πυκνωτή (κύκλωμα 3.1) χρησιμοποιώντας έναν πυκνωτή 47μF. Για να μετρήσουμε την τάση στα άκρα του πυκνωτή χρησιμοποιήσαμε έναν μικροελεγκτή Arduino Uno, ο οποίος με τον κατάλληλο κώδικα μας έδειχνε την τάση εξόδου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Φωτογραφία 3.3: Ο μικροελεγκτής Arduino Uno

Για ταλαντώσουμε τον αισθητήρα, τον χτυπούσαμε ελαφρά με το χέρι έτσι ώστε να αναπτυχθεί τάση στα άκρα του και με τη σειρά του να γίνει η φόρτιση του πυκνωτή.

3.2.1 Μετρήσεις πρώτης πειραματικής διαδικασίας

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα τα οποία σχεδιάσαμε σύμφωνα με τον πίνακα Β.1 του παραρτήματος Β

Τα διαγράμματα τάσης και ενέργειας:



Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για φόρτιση πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

3.2.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας

Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία παρατηρούμε ότι ο πυκνωτής χρειάζεται περίπου 150 δευτερόλεπτα ώστε να φτάσει στη μέγιστη τάση όπου μπορεί να δεχθεί (0,151 V). Η ενέργεια που παίρνουμε είναι αρκετά χαμηλή. Παρατηρούμε αυξομειώσεις στην τάση καθώς η ταλάντωση δεν μπορεί να γίνει με κάποιο σταθερό ρυθμό. Έτσι οι μετρήσεις οι οποίες έχουμε θα διαφέρουν αν επαναλάβουμε το πείραμα, ανάλογα με τον χρόνο όπου θα ταλαντώνουμε τον αισθητήρα, αλλά και το ρυθμό και ένταση με τον οποίο χτυπάμε με το χέρι. Τέλος η χρήση του μικροελεγκτή δεν μας αποφέρει αρκετά έγκυρα αποτελέσματα καθώς δεν έχει την ακρίβεια την οποία χρειαζόμαστε, αλλά και ότι είναι αρκετά ευαίσθητος σε θορύβους από εξωτερικούς παράγοντες.

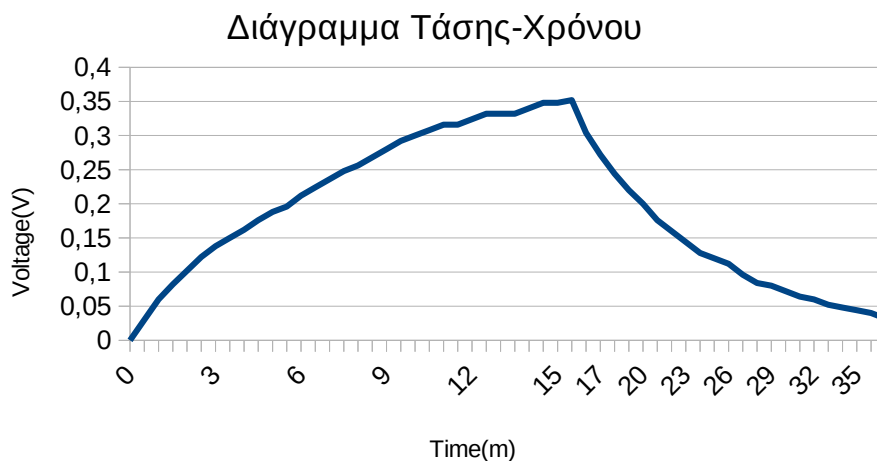
3.3 Δεύτερη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διόδου-Πυκνωτή και μετρήσεις με τη χρήση παλμογράφου

Στο δεύτερο στάδιο των πειραμάτων επαναλάβαμε την πρώτη διαδικασία χρησιμοποιώντας όμως έναν παλμογράφο για την καταγραφή της τάσης εξόδου του πυκνωτή C1. Επίσης, αφήσαμε τον πυκνωτή να εκφορτιστεί ώστε να δούμε τον χρόνο όπου χρειάζεται.

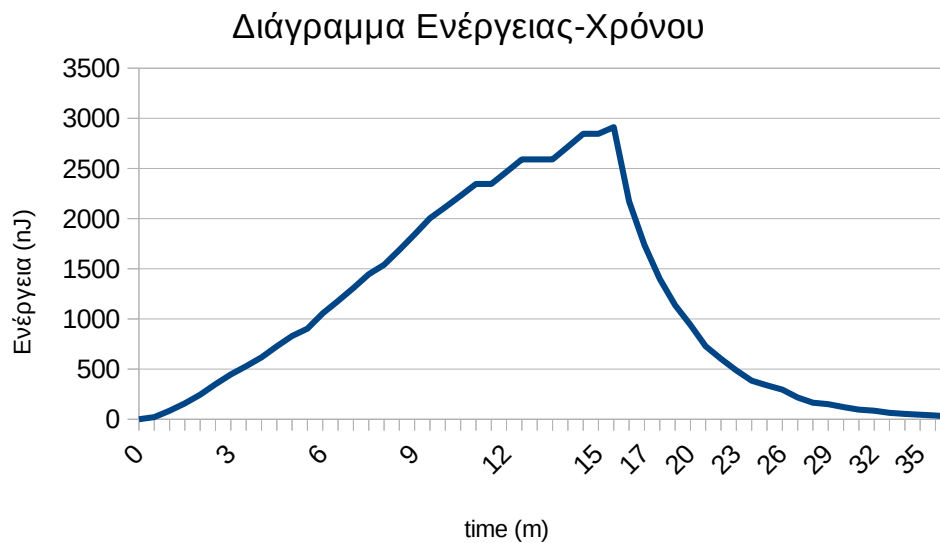
3.3.1 Μετρήσεις δεύτερης πειραματικής διαδικασίας

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα τα οποία σχεδιάσαμε σύμφωνα με τον πίνακα B.2 του παραρτήματος B

Τα διαγράμματα τάσης και ενέργειας:



Διάγραμμα 3.3: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή 47μF (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι



Διάγραμμα 3.4: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για φόρτιση πυκνωτή 47 μ F (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

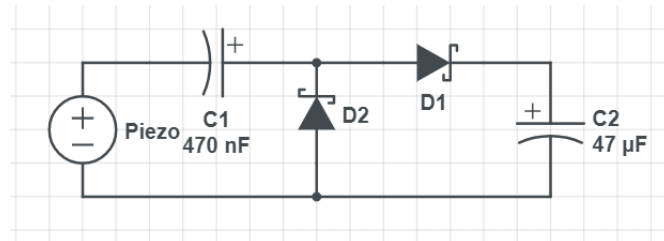
3.3.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας

Παρατηρούμε ότι στη συγκεκριμένη διαδικασία έχουμε μεγαλύτερη τάση στα άκρα του πυκνωτή σε σχέση με την προηγούμενη πειραματική διαδικασία. Αυτό συμβαίνει διότι χτυπούσαμε με μεγαλύτερη ένταση και για μεγαλύτερη διάρκεια τον αισθητήρα μας. Οι μετρήσεις με τη χρήση του παλμογράφου είναι πιο ακριβείς. Τα αποτελέσματά μας θα διαφέρουν και πάλι ελάχιστα αν επαναλάβουμε τη διαδικασία, καθώς δεν μπορούμε να έχουμε ακρίβεια στο ρυθμό και στην ένταση με την οποία ταλαντώνουμε τον αισθητήρα μας.

3.4 Τρίτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάσης

Για το επόμενο πείραμα χρησιμοποιήσαμε τη διάταξη διπλασιαστή τάσης (κύκλωμα 3.2). Ο πυκνωτής C1 που χρησιμοποιήσαμε ήταν χωρητικότητας 0,47 μ F και ο πυκνωτής C2 ήταν 47 μ F. Μετρήσαμε, με τη χρήση παλμογράφου, την έξοδο στα άκρα του πυκνωτή C2. Και οι δύο δίοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι δίοδοι Schottky. Η ταλάντωση του αισθητήρα έγινε και πάλι με το χέρι.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

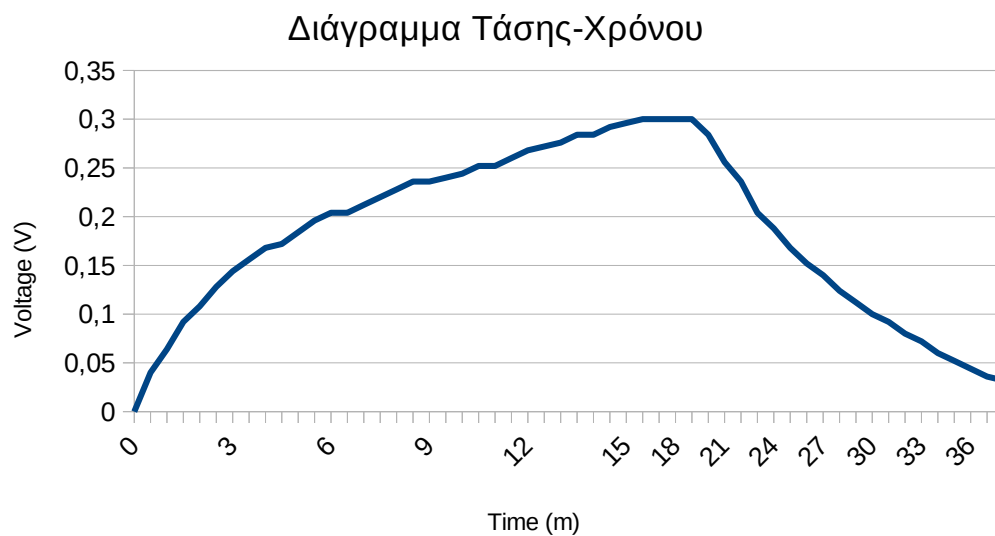


Κύκλωμα 3.3: Κύκλωμα διπλασιαστή τάσης με πυκνωτές $0,47\mu\text{F}$ - $47\mu\text{F}$

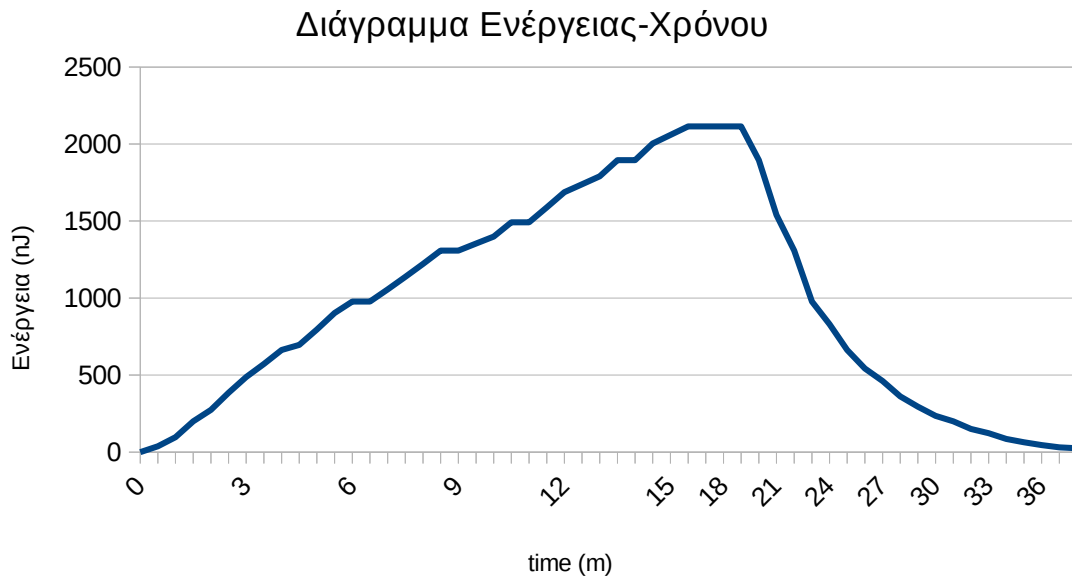
3.4.1 Μετρήσεις τρίτης πειραματικής διαδικασίας

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα τα οποία σχεδιάσαμε σύμφωνα με τον πίνακα Β.3 του παραρτήματος Β

Τα διαγράμματα τάσης και ενέργειας:



Διάγραμμα 3.5: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή $47\mu\text{F}$ (κύκλωμα 3.3) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι



Διάγραμμα 3.6: Διάγραμμα χρόνου-ενέργειας για φόρτιση πυκνωτή 47 μ F (κύκλωμα 3.3) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

3.4.2 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας

Παρατηρούμε ότι και στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ο χρόνος φόρτισης στη μέγιστη τάση είναι περίπου ίδιος με την προηγούμενη πειραματική διαδικασία, παρότι χρησιμοποιούμε τον διπλασιαστή τάσης. Αυτό συμβαίνει διότι και σε αυτήν την περίπτωση η ταλάντωση του αισθητήρα έγινε με το χέρι και έτσι δεν έχουμε πάντα σταθερό ρυθμό και ένταση. Δε μπορεί να γίνει ακριβή σύγκριση των αποτελεσμάτων αν δεν έχουμε ίδιες παραμέτρους εισόδου.

3.5 Τέταρτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάση και χρήση ηχείου Η/Υ των 5W

Για καλύτερα αποτελέσματα και για αυτοματοποίηση της διαδικασίας χρησιμοποιήσαμε ένα ηχείο στο οποίο αναπαραγάγαμε ήχο μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Για την αναπαραγωγή χρησιμοποιήσαμε μια γεννήτρια συχνοτήτων που βρήκαμε στο διαδίκτυο, όπου μπορούσαμε να αναπαράγουμε διάφορες ακουστικές συχνότητες. Για να μπορέσει να ταλαντωθεί ο αισθητήρας (Minisense 100-LDTC-V) τον ακουμπήσαμε σχεδόν επάνω στην μεμβράνη του ηχείου. Όταν απομακρύνουμε τον αισθητήρα από το ηχείο τότε δεν παρουσίαζε καμία τάση στα άκρα του. Η συχνότητα η οποία αναπαραγάγαμε από το ηχείο ήταν στα 240hz καθώς εκεί παρατηρήσαμε ότι ο αισθητήρας εμφάνιζε τη

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

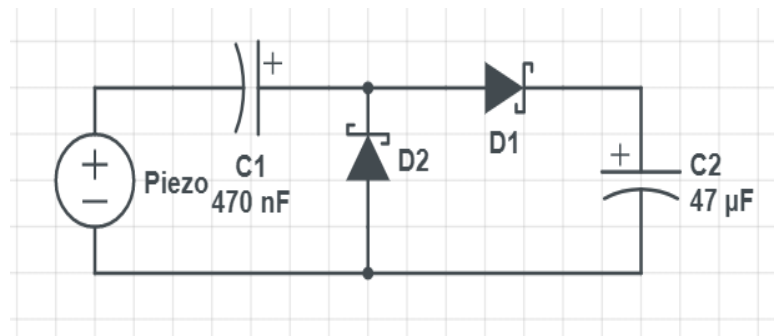
μεγαλύτερη τάση στα άκρα του. Επαναλάβαμε τη διαδικασία για διάφορα ζεύγη πυκνωτών.



Φωτογραφία 3.4: Ηχείο Ηλεκτρονικού υπολογιστή 5W

3.5.1 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 0,47μF – 47 μF

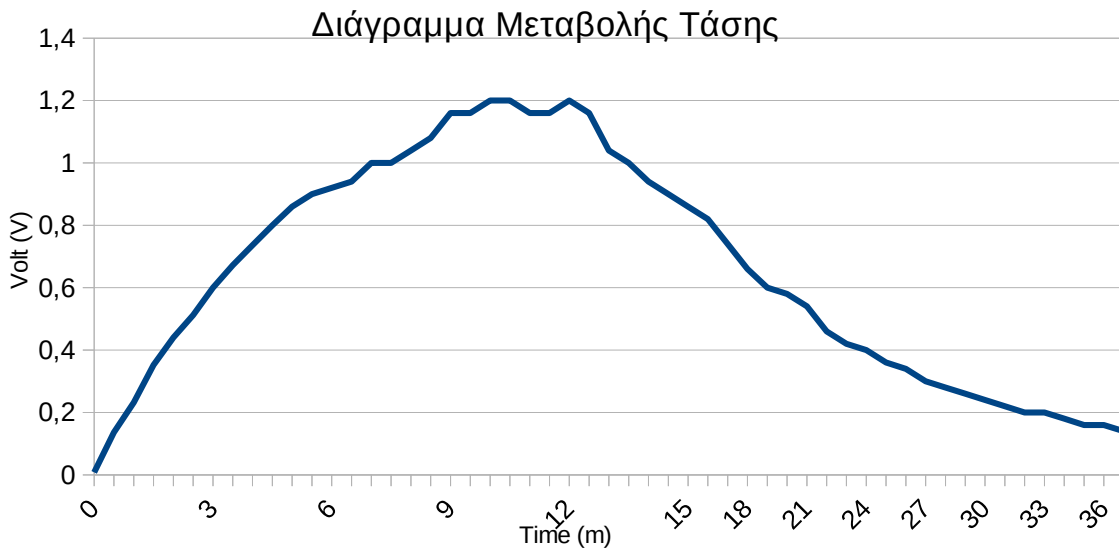
Το πρώτο ζεύγος πυκνωτών το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι των 0,47μF – 47μF, όπως φαίνεται στην παρακάτω συνδεσμολογία.



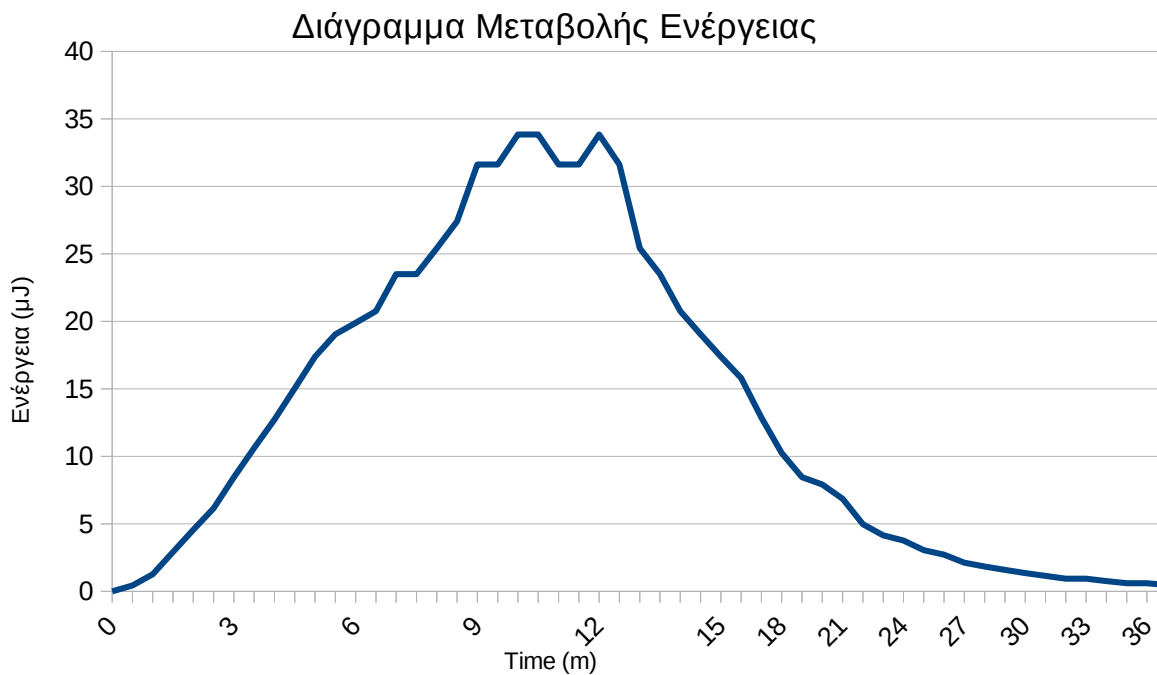
Κύκλωμα 3.4: Κύκλωμα φόρτισης με ζεύγη πυκνωτών 0,47μF - 47μF

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.4 του παραρτήματος Β.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



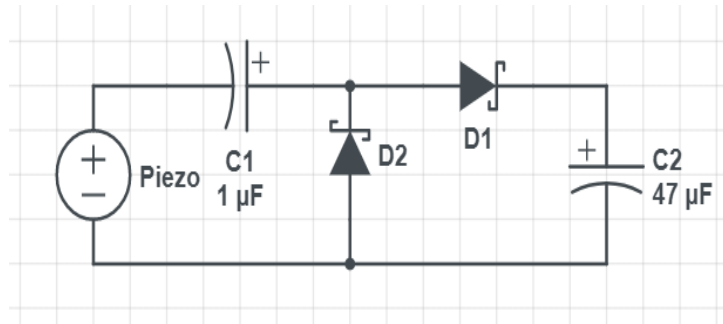
Διάγραμμα 3.7: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.4) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου $5W$



Διάγραμμα 3.8: Διάγραμμα ενέργειας-τάσης για φόρτιση πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.4) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου $5W$

3.5.2 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 1 μ F – 47 μ F

Το επόμενο ζεύγος πυκνωτών το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι των 1 μ F – 47 μ F, όπως φαίνεται στην παρακάτω συνδεσμολογία.

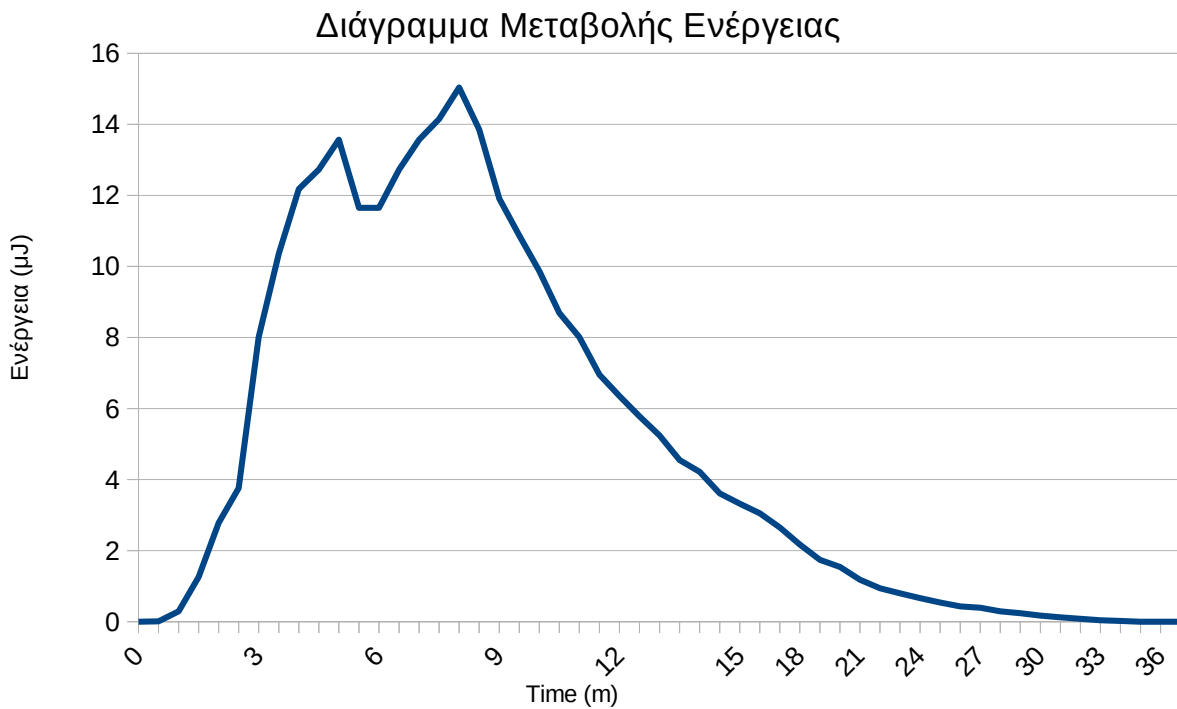


Κύκλωμα 3.5: Κύκλωμα φόρτισης με ζεύγη πυκνωτών 1 μ F - 47 μ F

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.5 του παραρτήματος Β



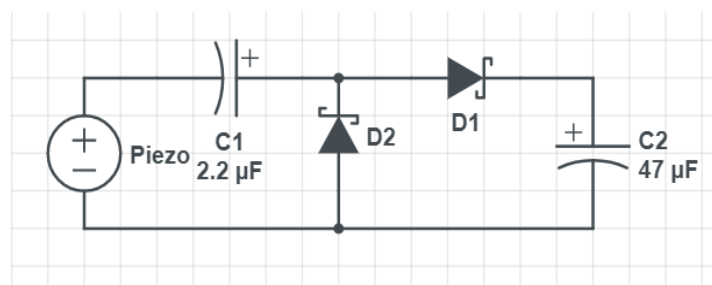
Διάγραμμα 3.9: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή 47 μ F (κύκλωμα 3.5) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W



Διάγραμμα 3.10: Διάγραμμα χρόνου-ενέργειας για φόρτιση πυκνωτή $47\mu\text{F}$ (κύκλωμα 3.5) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W

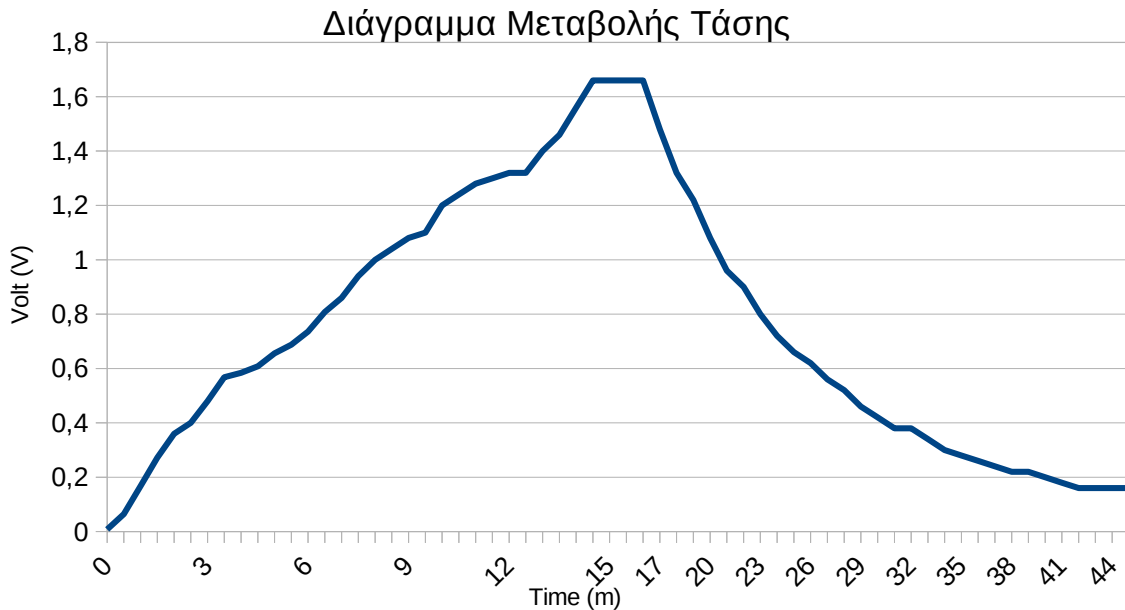
3.5.3 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών $2,2\mu\text{F} - 47\mu\text{F}$

Το επόμενο ζεύγος πυκνωτών το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι των $2,2\mu\text{F} - 47\mu\text{F}$, όπως φαίνεται στην παρακάτω συνδεσμολογία.

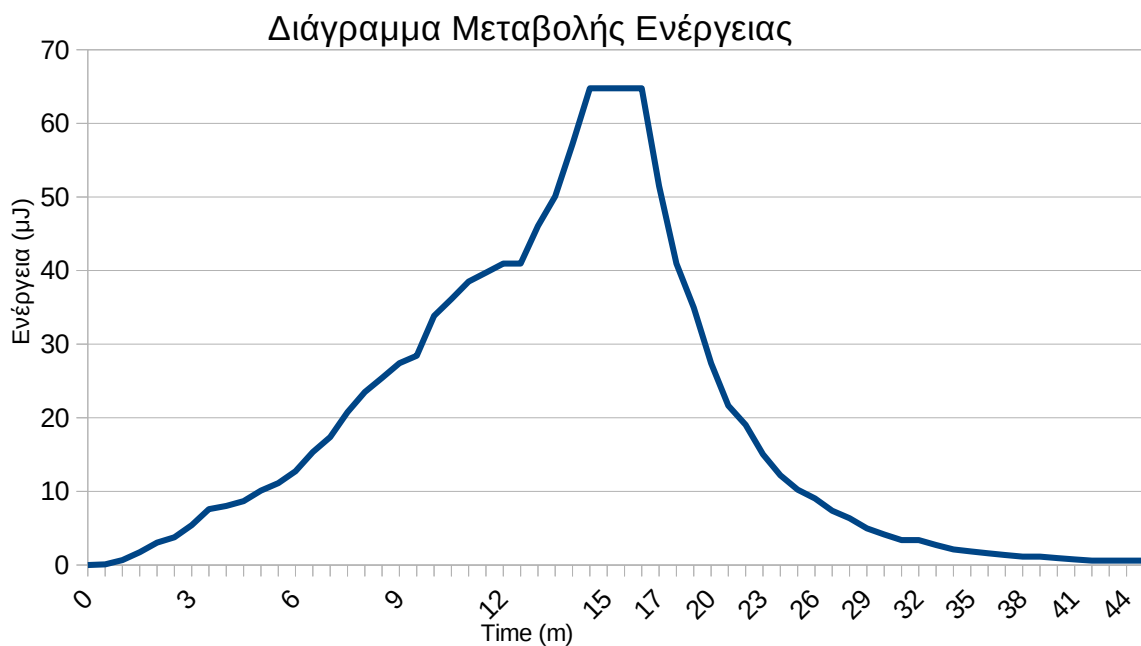


Κύκλωμα 3.6: Κύκλωμα φόρτισης με ζεύγη πυκνωτών $2,2\mu\text{F} - 47\mu\text{F}$

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.6 του παραρτήματος Β.



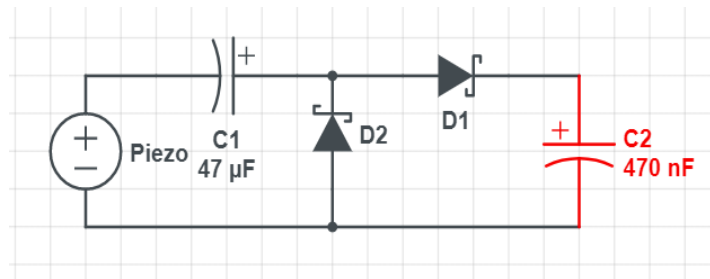
Διάγραμμα 3.11: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή $47\mu\text{F}$ (κύκλωμα 3.6) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W



Διάγραμμα 3.12: Διάγραμμα χρόνου-ενέργειας για φόρτιση πυκνωτή $47\mu\text{F}$ (κύκλωμα 3.6) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W

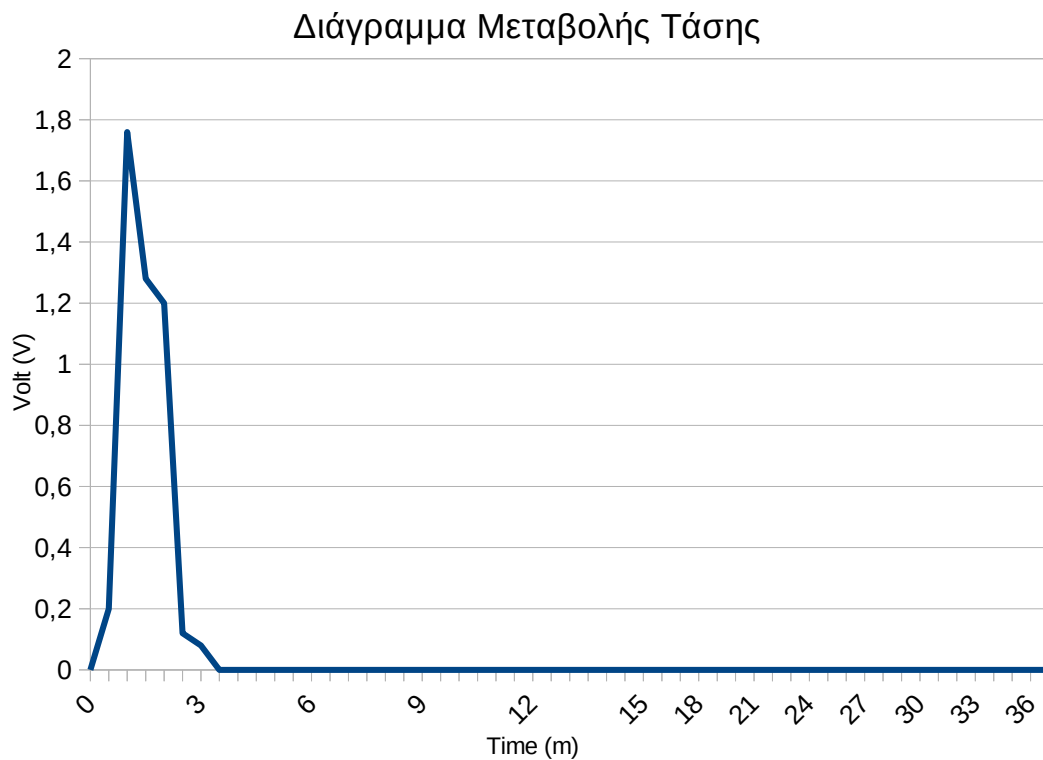
3.5.4 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 47 μ F – 0,47 μ F

Το επόμενο ζεύγος πυκνωτών το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι των 47 μ F – 0,47 μ F, όπως φαίνεται στην παρακάτω συνδεσμολογία

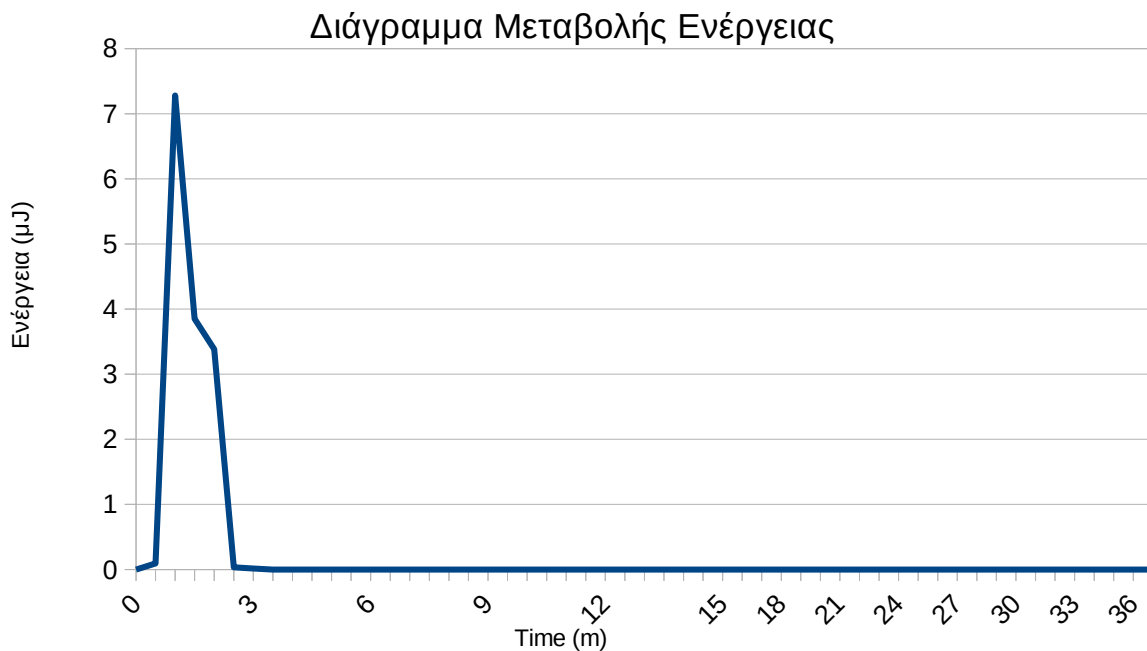


Κύκλωμα 3.7: Κύκλωμα φόρτισης με ζεύγη πυκνωτών 47 μ F – 0,47 μ F

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα 3.7 του παραρτήματος Β



Διάγραμμα 3.13: Διάγραμμα χρόνου-τάσης για φόρτιση πυκνωτή 0,47 μ F (κύκλωμα 3.7) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W



Διάγραμμα 3.14: Διάγραμμα χρόνου-ενέργειας για φόρτιση πυκνωτή $0,47\mu F$ (κύκλωμα 3.7) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου $5W$

3.5.5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας

Παρατηρούμε ότι σε σχέση με τις προηγούμενες πειραματικές διαδικασίες, στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία είχαμε μεγαλύτερες τάσεις και συνεπώς περισσότερη ενέργεια στα άκρα των πυκνωτών. Βλέπουμε ότι όταν ο πυκνωτής είναι μικρότερης χωρητικότητας φορτίζει και εκφορτίζει πιο γρήγορα. Τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν ελάχιστα αν επαναληφθούν και δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους στην εντέλεια καθώς ο αισθητήρας ακουμπούσε στο ηχείο σε διάφορα σημεία και δεν μπορούσε να στηριχθεί σε συγκεκριμένο σημείο, λόγω της διαμέτρου του ηχείου, έτσι ώστε να πάρουμε αποτελέσματα από όλες τις μετρήσεις με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες.

3.6 Πέμπτη Πειραματική Διαδικασία: Διάταξη διπλασιαστή τάσης, μετρήσεις με την χρήση ηχείου $90W$ και αισθητήρα σε σταθερό σημείο

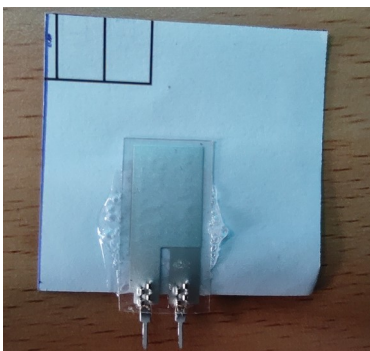
Το σοβαρό μειονέκτημα των προηγούμενων μετρήσεων είναι ότι δεν μπορούσαμε να πάρουμε μετρήσεις από απόσταση σε σχέση με το ηχείο, αλλά και να βρίσκεται ο αισθητήρας στο ίδιο σημείο έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήσαμε ένα μεγαλύτερο ηχείο των $90W$ και στέλναμε διάφορες συχνότητες ήχου τις οποίες ελέγχουμε μέσα από Η/Υ.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

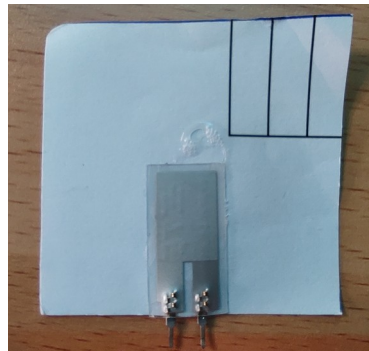


Φωτογραφία 3.5: Ηχείο 90W

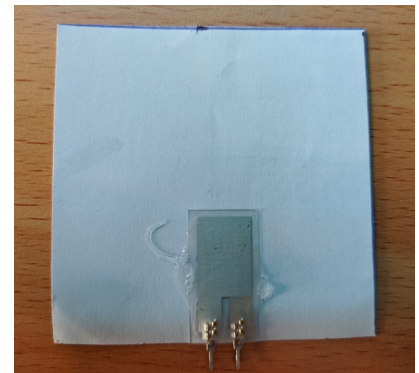
Για τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα LDT0-028K. Τοποθετήσαμε, λοιπόν, τον αισθητήρα μας σε απόσταση 55mm από την μεμβράνη του ηχείου. Αρχικά ο αισθητήρας τοποθετήθηκε αυτούσιος και όταν αναπαρήγαμε ήχο δεν παίρναμε κανένα αποτέλεσμα στις μετρήσεις μας. Έτσι για να μπορέσουμε να μεγεθύνουμε την ένταση όπου δέχεται ο αισθητήρας κολλήσαμε επάνω του χαρτί σε διάφορες διαστάσεις έτσι ώστε να μεγαλώσουμε την επιφάνειά του. Με αυτόν τον τρόπο καταφέραμε να πάρουμε την επιθυμητή τάση στα άκρα του αισθητήρα. Τα χαρτιά τα οποία χρησιμοποιήσαμε έχουν διαστάσεις 40x40mm, 50x50mm και 60x60mm.



*Φωτογραφία 3.8:
Αισθητήρας LDT0-028K με
προέκταση χαρτιού
40x40mm*

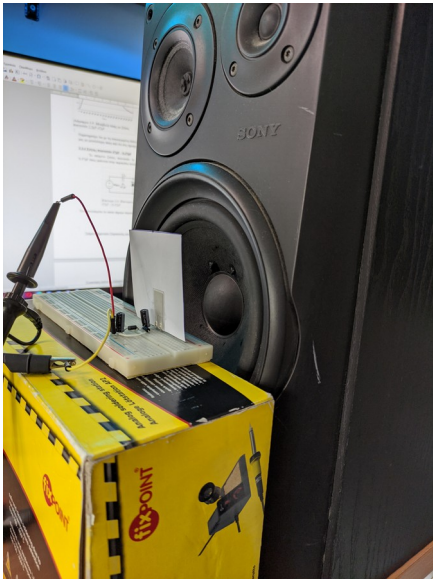


*Φωτογραφία 3.7:
Αισθητήρας LDT0-028K με
προέκταση χαρτιού
50x50mm*

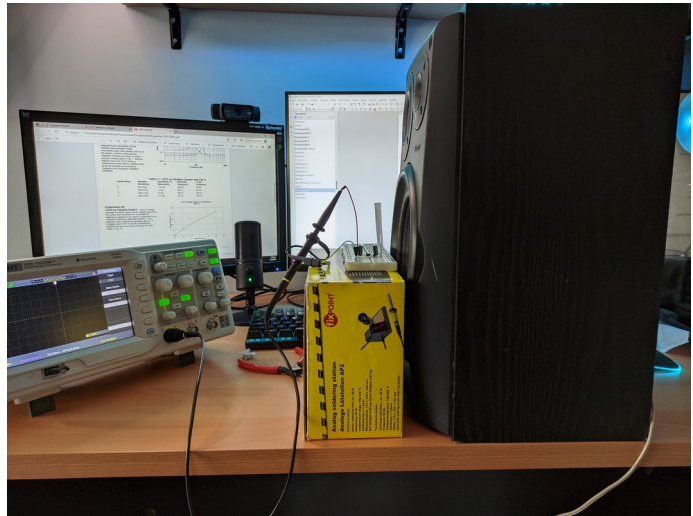


*Φωτογραφία 3.6: Αισθητήρας
LDT0-028K με προέκταση
χαρτιού 60x60mm*

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



Φωτογραφία 3.9: Σταθεροποίηση αισθητήρα σε απόσταση 55mm από τη μεμβράνη του ηχείου



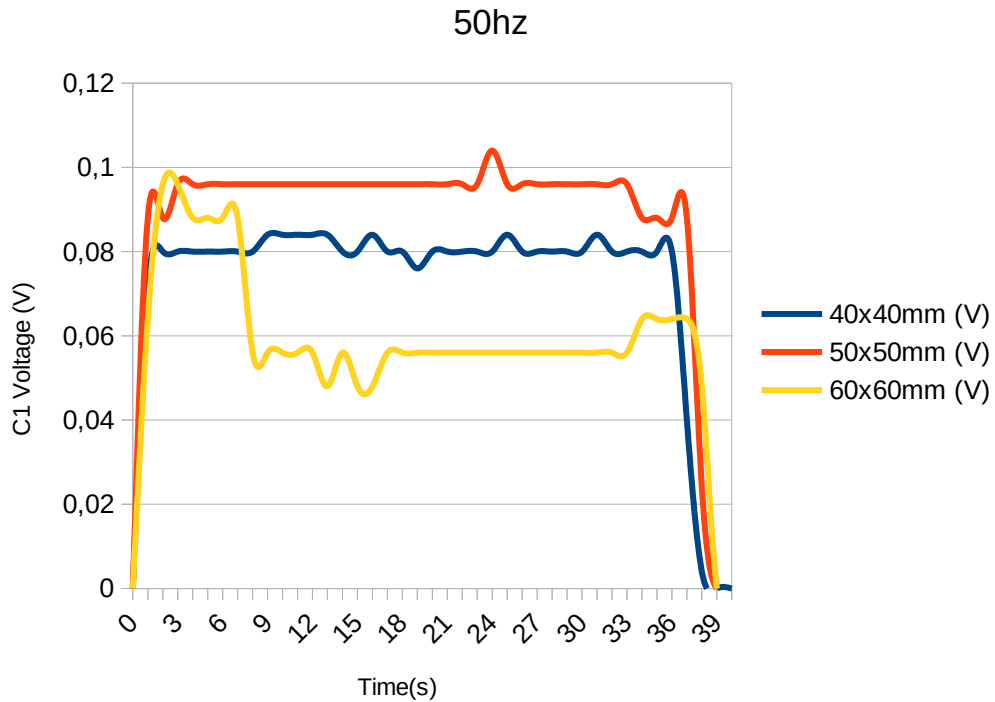
Φωτογραφία 3.10: Σταθεροποίηση αισθητήρα σε απόσταση 55mm από τη μεμβράνη του ηχείου

Για τη συλλογή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε η διάταξη του διπλασιαστή τάσης με ζεύγος πυκνωτών $0,47\mu\text{F}$, έτσι ώστε να μπορούμε να πάρουμε πιο γρήγορα αποτελέσματα φόρτισης του πυκνωτή. Έγιναν μετρήσεις σε διάφορες ακουστικές συχνότητες. Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται παρακάτω.

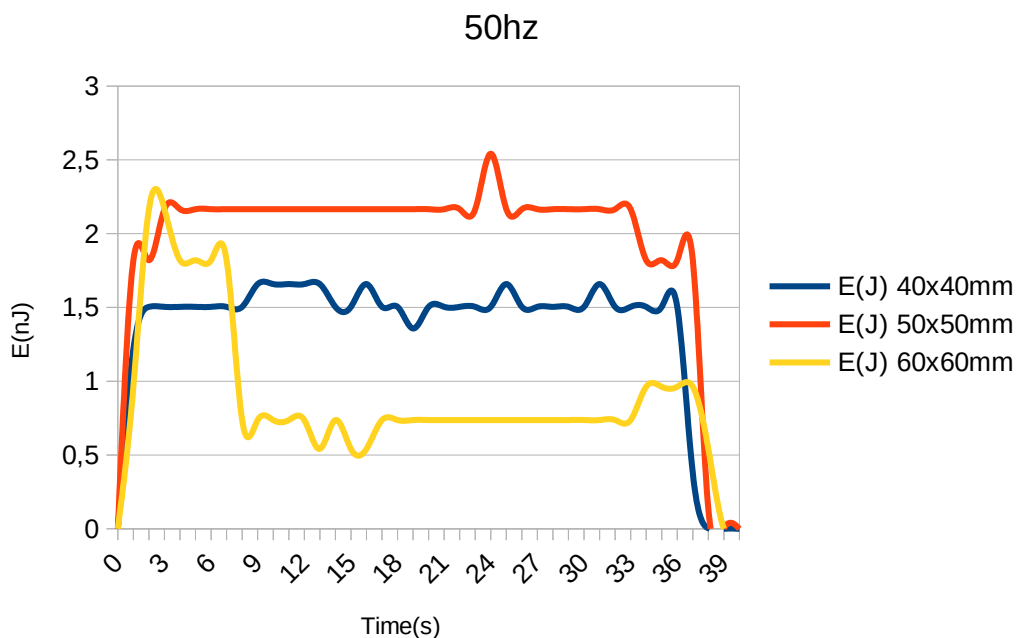
3.6.1 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 50Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.8 του παραρτήματος Β

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



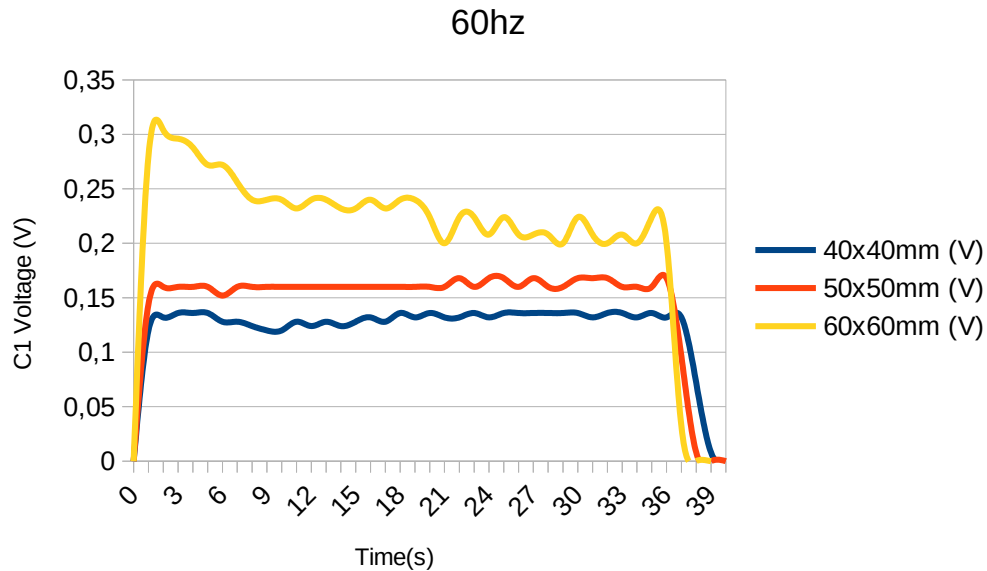
Διάγραμμα 3.15: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 50Hz



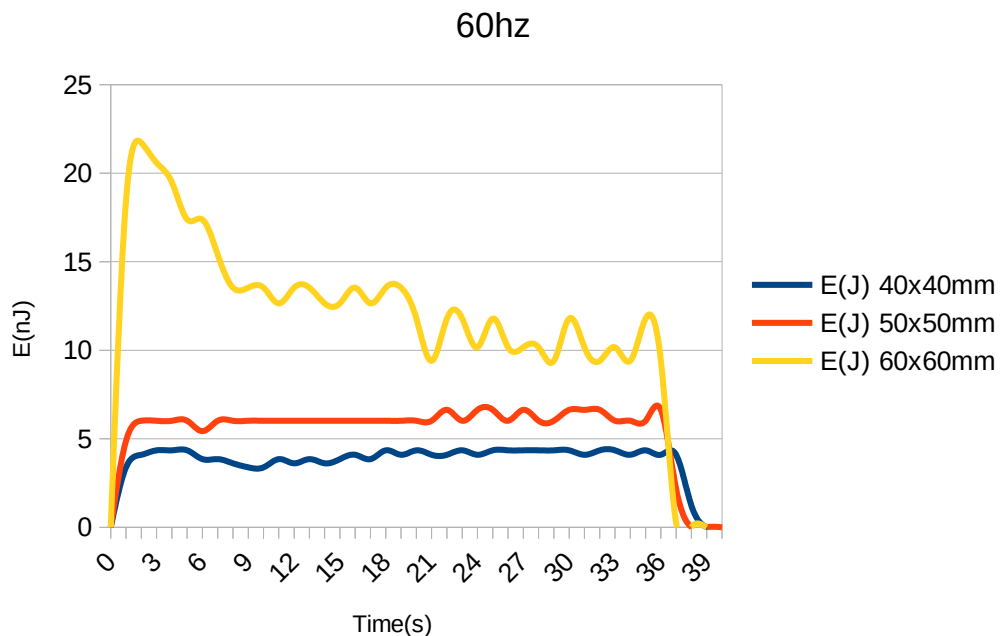
Διάγραμμα 3.16: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 50Hz

3.6.2 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 60Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.9 του παραρτήματος Β



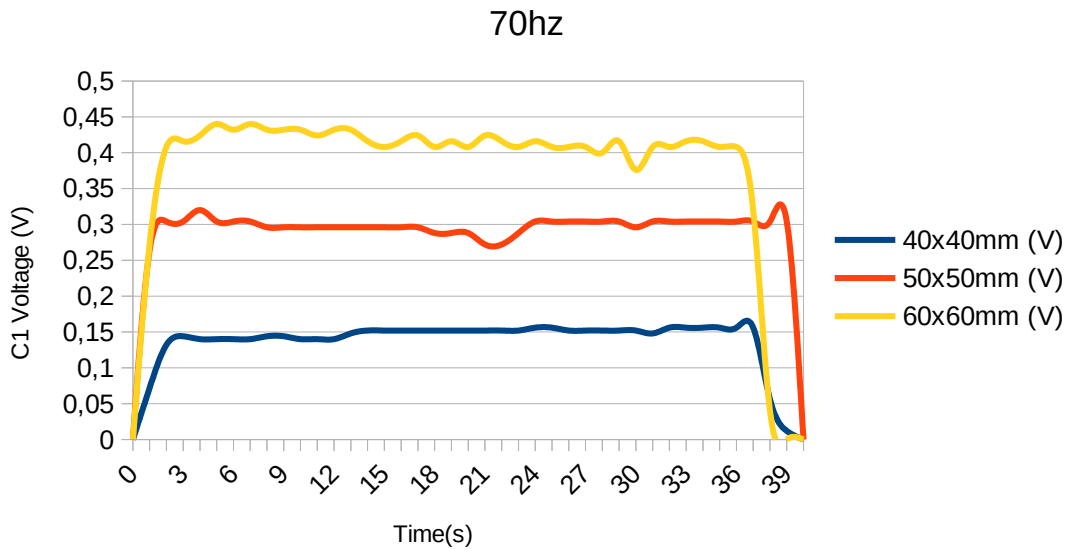
Διάγραμμα 3.17: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 60Hz



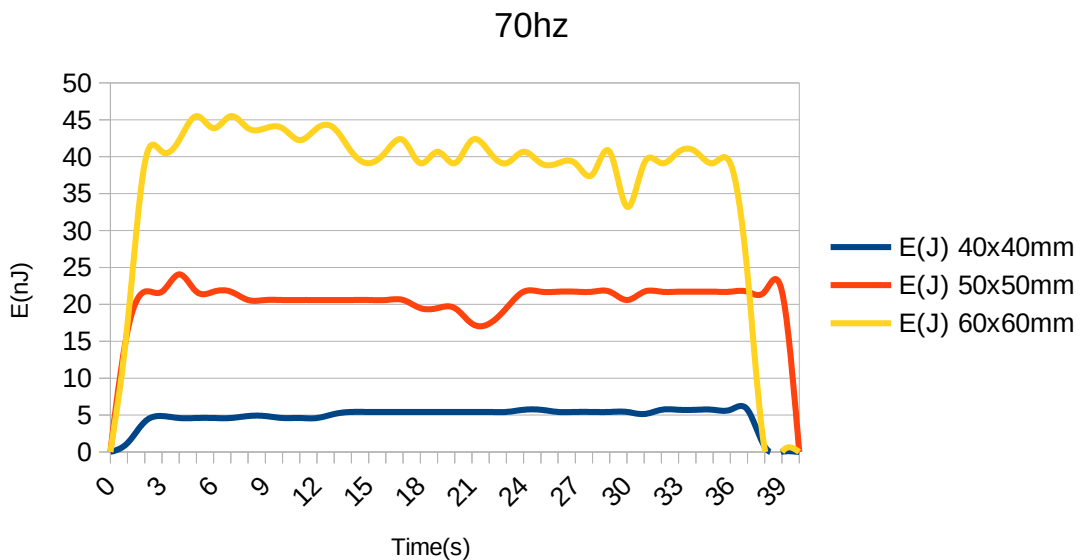
Διάγραμμα 3.18: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 60Hz

3.6.3 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 70Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.10 του παραρτήματος Β



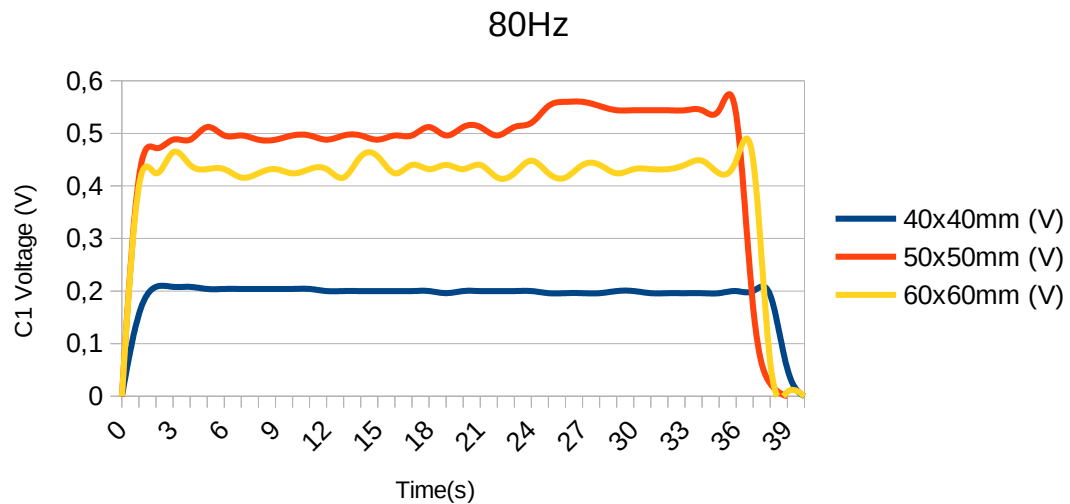
Διάγραμμα 3.19: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 70Hz



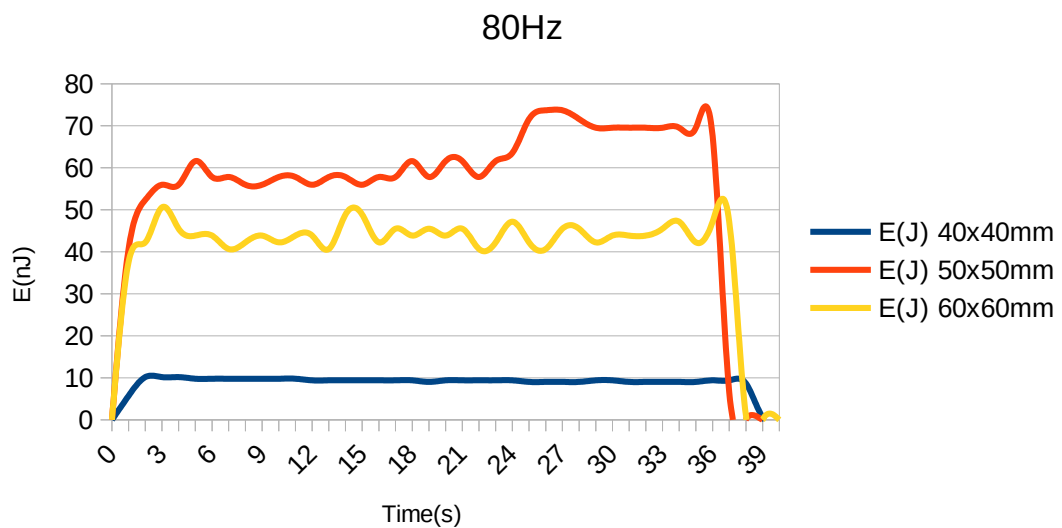
Διάγραμμα 3.20: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 70Hz

3.6.4 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 80Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.11 του παραρτήματος Β



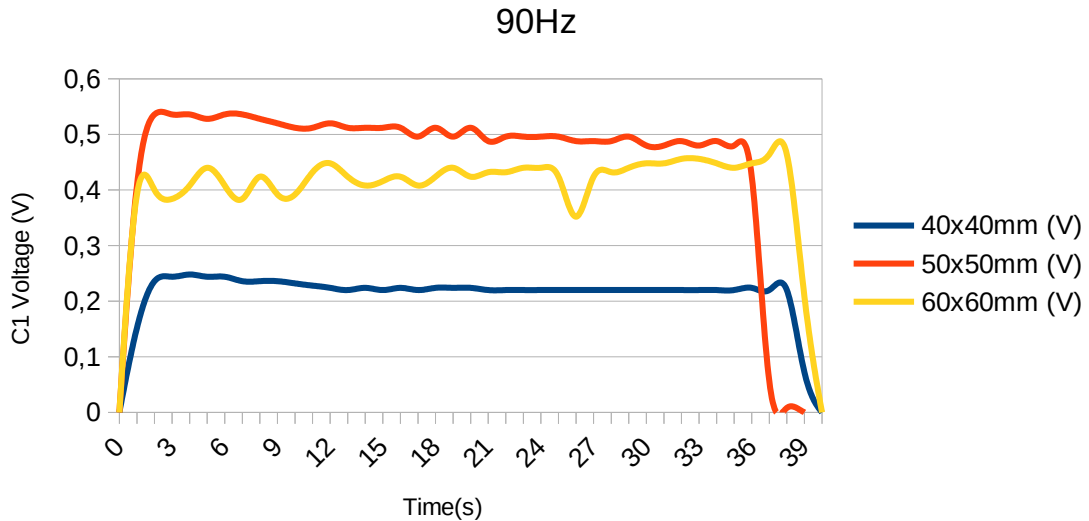
Διάγραμμα 3.21: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 80Hz



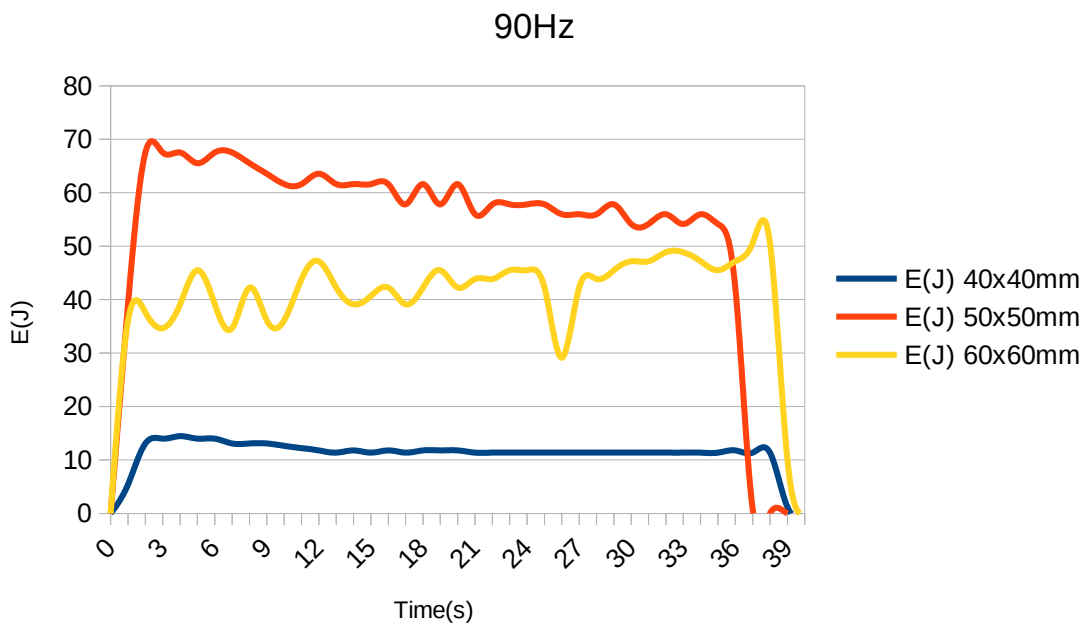
Διάγραμμα 3.22: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 80Hz

3.6.5 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 90Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.12 του παραρτήματος Β



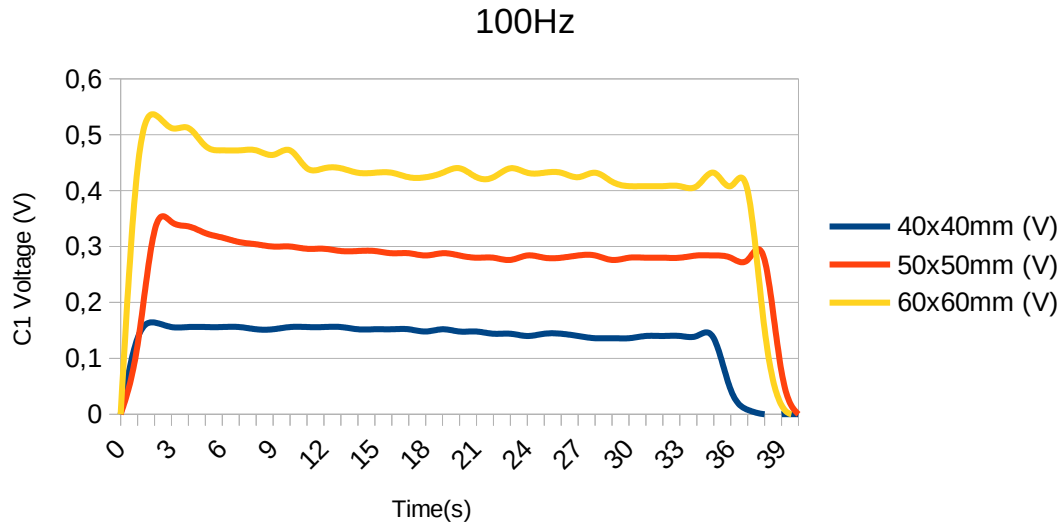
Διάγραμμα 3.23: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 90Hz



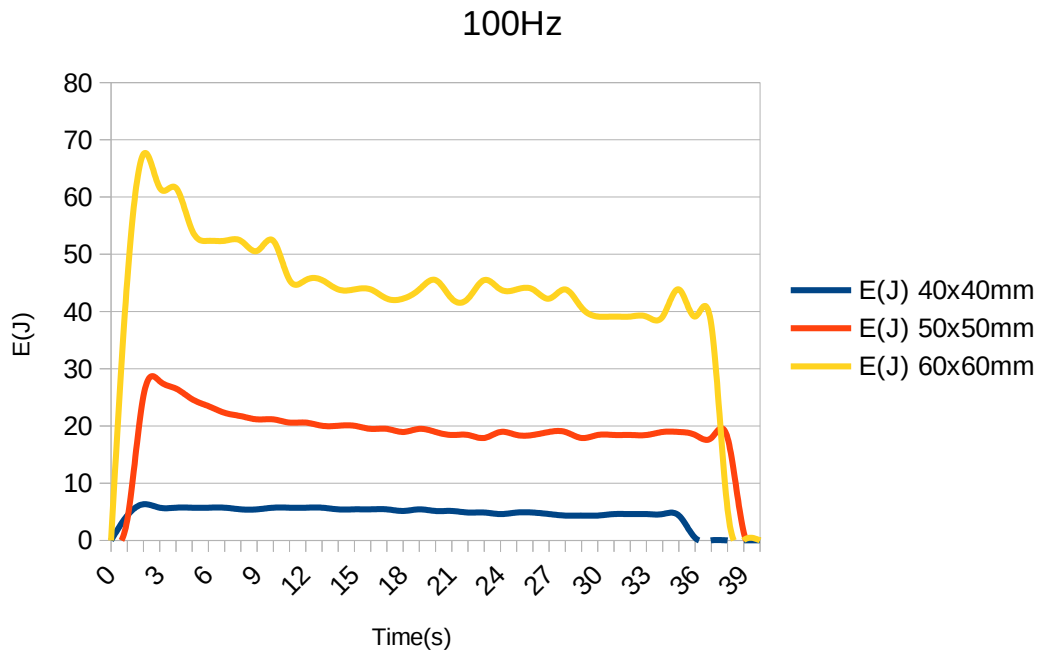
Διάγραμμα 3.24: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 90Hz

3.6.6 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 100Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.13 του παραρτήματος Β



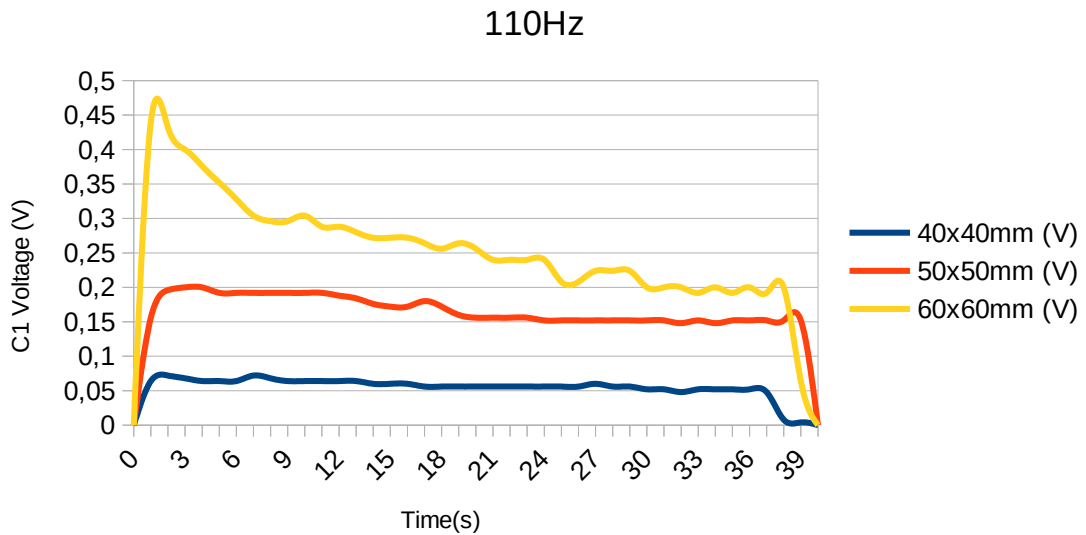
Διάγραμμα 3.25: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 100Hz



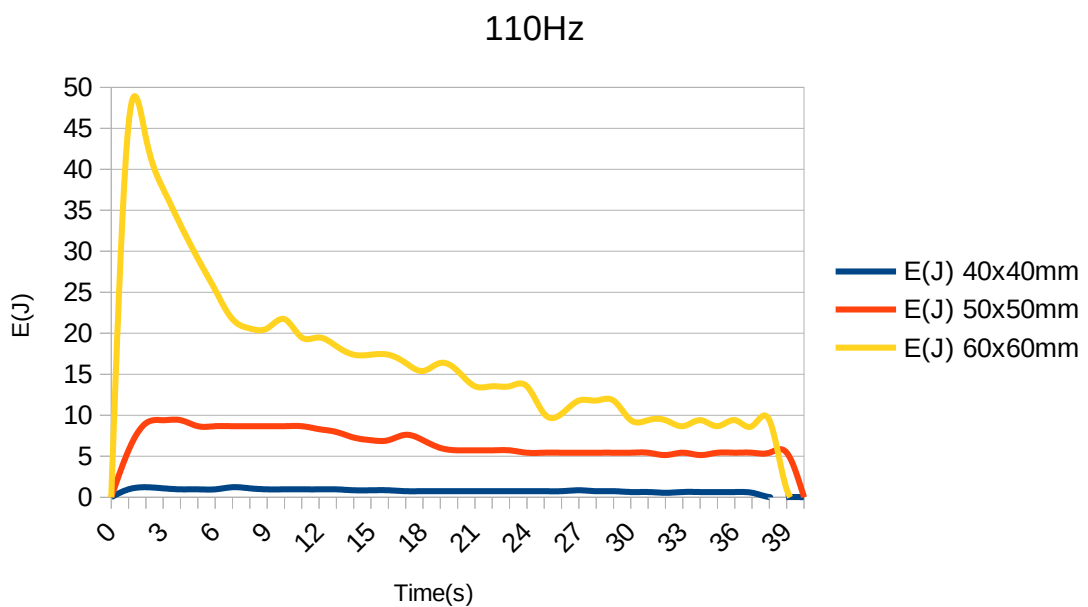
Διάγραμμα 3.26: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 100Hz

3.6.7 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 110Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.14 του παραρτήματος Β



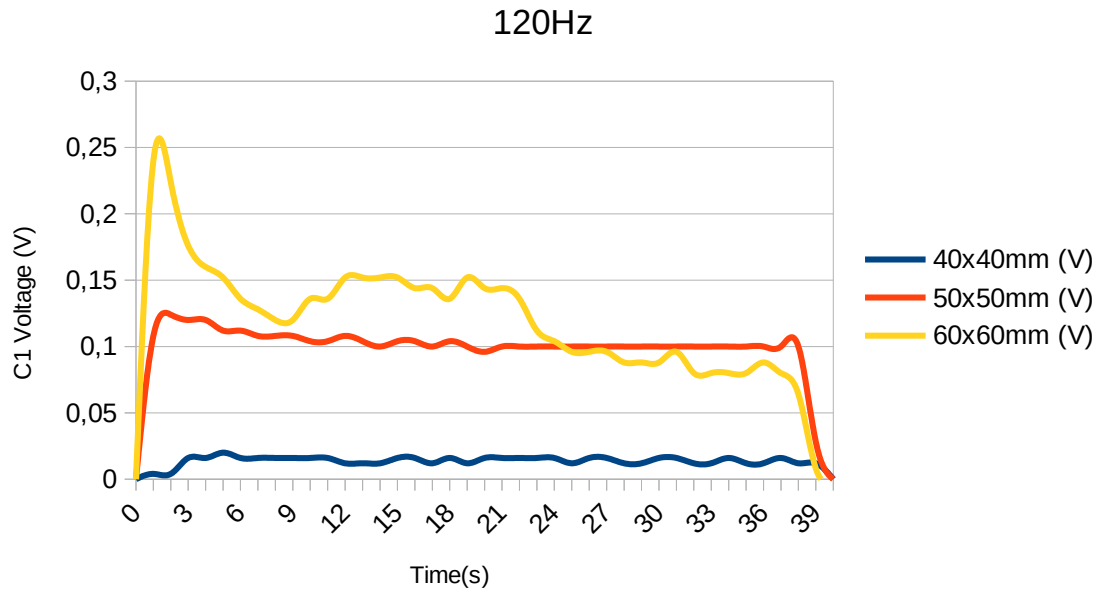
Διάγραμμα 3.27: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 110Hz



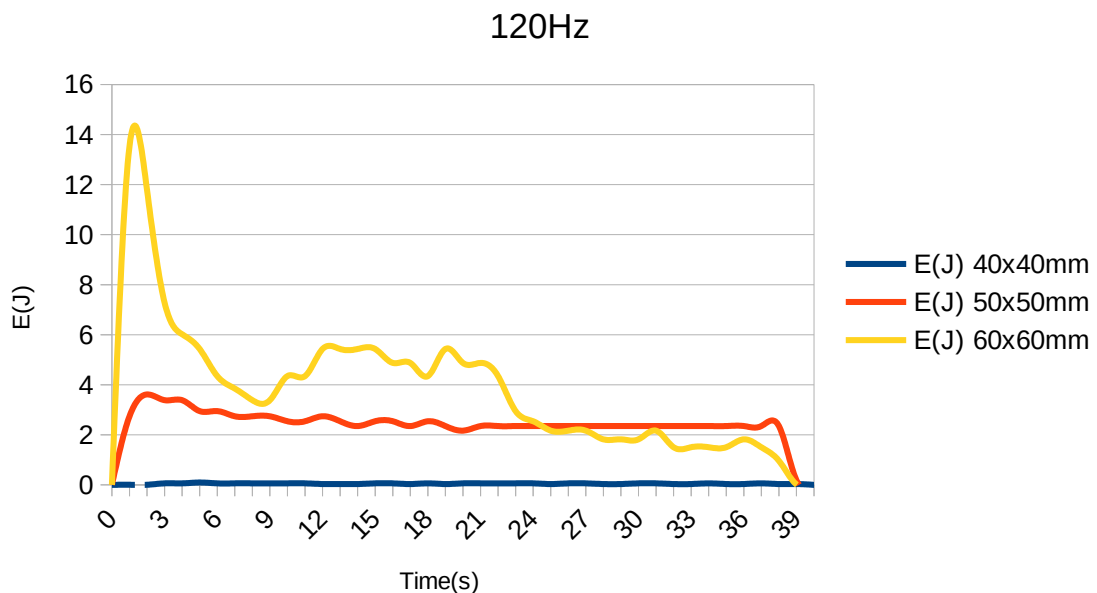
Διάγραμμα 3.28: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 110Hz

3.6.8 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 120Hz

Παρακάτω βλέπουμε τα διαγράμματα Τάσης-Χρόνου και Ενέργειας-Χρόνου με βάση τις τιμές του Πίνακα Β.15 του παραρτήματος Β



Διάγραμμα 3.29: Διάγραμμα τάσης-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 120Hz

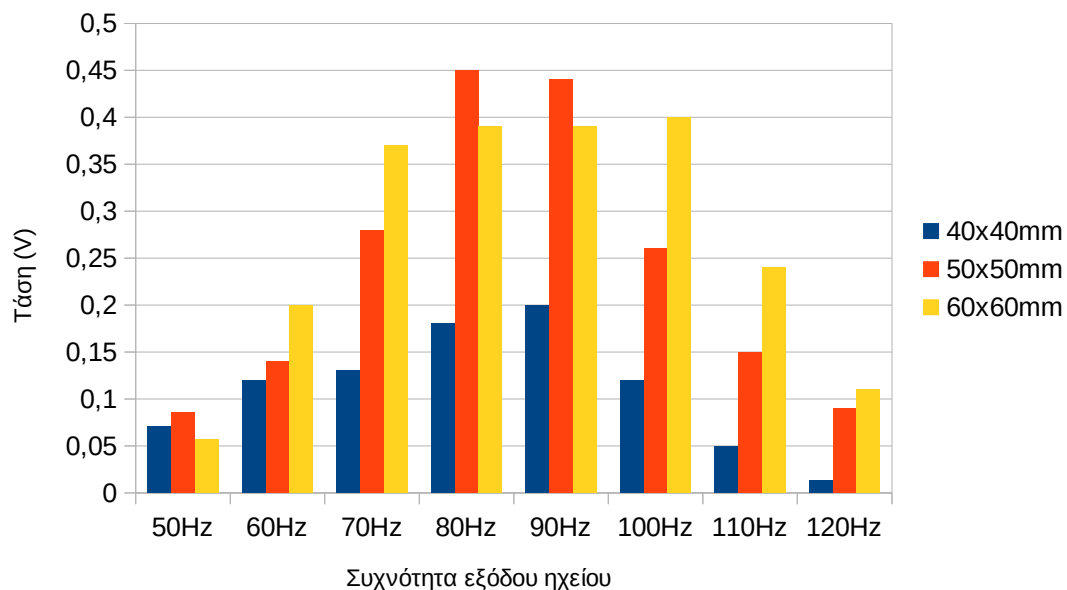


Διάγραμμα 3.30: Διάγραμμα ενέργειας-χρόνου για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 120Hz

3.6.9 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα διαδικασίας

Το πρώτο που παρατηρούμε στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία είναι ότι η τάση που δέχεται ο πυκνωτής αλλάζει ανάλογα με τη συχνότητα. Η μέγιστη τάση βρίσκεται στη συχνότητα συντονισμού του αισθητήρα. Ο αισθητήρας έχει διαφορετικές συχνότητες συντονισμού για τις διαφορετικές προεκτάσεις. Επιπλέον, τα αποτελέσματα τα οποία έχουμε πλέον είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε τις διαφορές των μέσων τιμών τάσης για τις διαφορετικές συχνότητες.

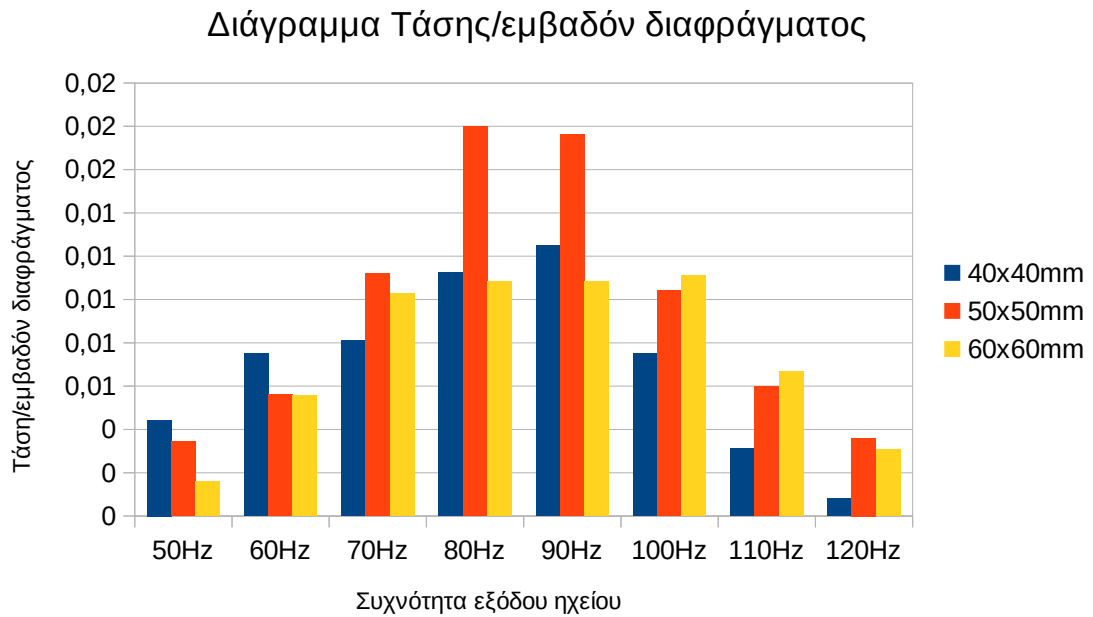
Διάγραμμα Μέσων Τιμών Τάσης



Διάγραμμα 3.31: Μέση τιμή τάσης πυκνωτή για διαφορετικές συχνότητες, με διαφορετικές προεκτάσεις του αισθητήρα

Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτερες τιμές των τάσεων είναι στις συχνότητες 80-90Hz. Εκεί βρίσκεται η συχνότητα συντονισμού του πιεζοηλεκτρικού. Πέρα από τις συγκεκριμένες συχνότητες, η τάση στα άκρα του πυκνωτή ήταν σχεδόν μηδέν. Επίσης, σημαντικό ρόλο για τη φόρτιση του πυκνωτή παίζει η απόσταση από το ηχείο. Στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν στα 55mm από το κέντρο της μεμβράνης. Αν απομακρυνόταν από εκεί η τάση έπεφτε. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, ότι τα αποτελέσματα τα οποία παίρνουμε είναι ανάλογα των διαστάσεων, της απόστασης, των υλικών και της συχνότητας του ήχου.

Ενδιαφέρον έχει επίσης το διάγραμμα μέσης τάσης δια του εμβαδόν του διαφράγματος V/cm^2 προς τη συχνότητα.



Διάγραμμα 3.32: Μέση τιμή τάσης πυκνωτή για διαφορετικές συχνότητες, με διαφορετικές προεκτάσεις του αισθητήρα

Παρατηρείτε επίσης ότι η μεγαλύτερη τιμή του λόγου V/cm^2 παρατηρείτε στις συχνότητες συντονισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις

4.1 Τελικά συμπεράσματα

Από τις πειραματικές διαδικασίες, οι οποίες ακολουθήθηκαν, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συλλογή ενέργειας από ακουστικές συχνότητες είναι δυνατή. Αποδείχθηκε και πειραματικά ότι η συγκομιδή ενέργειας εξαρτάται από:

α) Το υλικό κατασκευής του αισθητήρα.

Το υλικό κατασκευής από το οποίο είναι φτιαγμένο ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μπορεί να προσφέρει διαφορετικές συχνότητες συντονισμού, το οποίο συνεπάγεται σε μεγαλύτερες ή μικρότερες τάσεις στα άκρα του.

β) Το μέγεθος του αισθητήρα.

Παρατηρήσαμε ότι αν προσθέσουμε διάφορες μάζες στον αισθητήρα δημιουργούνται διαφορετικές συχνότητες συντονισμού.

γ) Την απόσταση από την πηγή του ήχου

Παρατηρήσαμε ότι η ενέργεια που αποθηκεύεται αλλάζει ανάλογα την απόσταση που υπάρχει από την πηγή του ήχου.

ε) Την ακουστική συχνότητα της πηγής

Η ακουστική συχνότητα της πηγής ταλαντώνει τον αισθητήρα. Έτσι, όταν αυτή αλλάζει τότε αλλάζει και η συχνότητα ταλάντωσης. Συνεπώς, η τάση που παράγεται στα άκρα εξαρτάται άμεσα από αυτήν.

στ) Τη διάταξη συλλογής ενέργειας

Παρατηρήσαμε ότι όταν αλλάζαμε πυκνωτές τότε είχαμε διαφορετικές τάσεις και ενέργεια στα άκρα τους. Πυκνωτές μικρότεροι σε χωρητικότητα προσφέρουν πιο γρήγορη φόρτιση. Πυκνωτές μεγαλύτεροι αναπτύσσουν μεγαλύτερη τάση και ενέργεια.

4.1.1 Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη διάταξη:

Η διάταξη, την οποία υλοποιήσαμε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συλλογή ενέργειας σε μέρη όπου υπάρχουν θόρυβοι χαμηλοί σε Hertz, όπως μέσα σε ένα πλυντήριο, στον κινητήρα ενός αυτοκινήτου κ.α. Αν και η ενέργεια που μας προσφέρει είναι σχετικά χαμηλή, εκτός από την αποθήκευση ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αισθητήρας για διάφορες υλοποιήσεις, όπως να ενεργοποιεί έναν διακόπτη όταν εντοπίσει μια συγκεκριμένη ακουστική συχνότητα.

4.2 Προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις

Η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να βελτιωθεί αρκετά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έναν αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών. Πρώτη βελτίωση η οποία θα μπορούσε να γίνει είναι στον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Διαφορετικοί αισθητήρες από διαφορετικά υλικά μπορούν να μας προσφέρουν μεγαλύτερες τάσεις εξόδου σε πολύ μεγαλύτερο φάσμα ακουστικών συχνοτήτων. Δεύτερη βελτίωση η οποία μπορεί να γίνει είναι στην ηλεκτρονική διάταξη. Καλύτερες διατάξεις μπορούν να μας προσφέρουν περισσότερη και ταχύτερη αποθήκευση ενέργειας. Οι βελτιώσεις μπορούν να προσφέρουν λύσεις σε αποθήκευση ενέργειας, αλλά και ως αισθητήρας σε διάφορους αυτοματισμούς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βοηθητικά προγράμματα

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών.

A.1 Χρήση μικροελεγκτή Arduino Uno ως παλμογράφο

Κατά τη διάρκεια της πρώτης πειραματικής διαδικασίας, για να μπορέσουν να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις που χρειαζόμασταν, χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Uno (φωτογραφία 3.3) ως παλμογράφος. Ο Arduino Uno είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα, ο οποίος χρησιμοποιεί τον μικροεπεξεργαστή της Atmel “ATmega328P”, και χρησιμοποιείται για μια πληθώρα εργασιών ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Έχει εύκολο προγραμματιστικό περιβάλλον και το κόστος του είναι αρκετά χαμηλό.

A.1.1 Γιατί να χρησιμοποιήσω έναν Arduino Uno ως παλμογράφο;

Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε, έχει πολύ χαμηλό κόστος και μπορεί κάποιος πολύ εύκολα να τον προμηθευτεί. Είναι μια εύκολη και πρακτική λύση όταν κάποιος δεν έχει πρόσβαση σε εργαστηριακό, και πολλές φορές ακριβό, εξοπλισμό. Στη δική μας περίπτωση, αναγκαστήκαμε να κάνουμε τις πρώτες πειραματικές μετρήσεις με τη χρήση του, καθώς λόγω της γενικευμένης απαγόρευσης κυκλοφορίας την περίοδο που καταπονήθηκε η πτυχιακή εργασία, δεν υπήρχε τρόπος πρόσβασης στο εργαστήριο της σχολής. Στην πορεία της πτυχιακής αντικαταστάθηκε με παλμογράφο, έτσι ώστε να έχουμε πιο έγκυρα αποτελέσματα.

A.1.2 Οδηγός για τη χρήση του Arduino Uno ως παλμογράφο

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα τα οποία έγιναν έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουμε τον μικροελεγκτή ως παλμογράφο.

- 1^ο Βήμα: Εγκατάσταση του “μεταφραστή” compiler του Arduino Uno

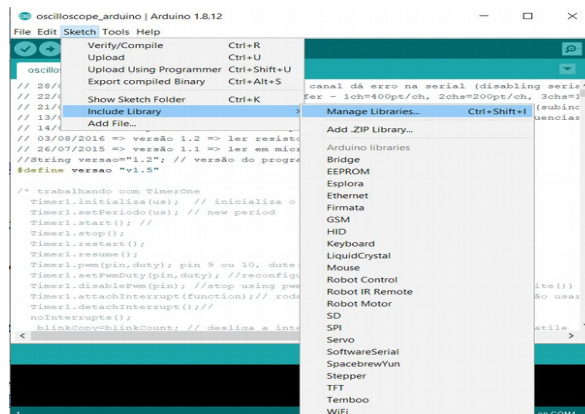
Για να μπορέσουμε να περάσουμε οποιοδήποτε πρόγραμμα σε έναν μικροελεγκτή θα πρέπει να γίνει η “μετάφρασή” του από κώδικα γλώσσας προγραμματισμού σε γλώσσα μηχανής. Αυτήν την εργασία αναλαμβάνει ο compiler. Ο επίσημος compiler είναι διαθέσιμος από την ιστοσελίδα <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> .

- 2^ο Βήμα: Εγκατάσταση της βιβλιοθήκης “TimerOne.h”

Μια βιβλιοθήκη είναι ένας κώδικας, ο οποίος με τη χρήση εντολών μέσα στο δικό μας κώδικα, τρέχει ώστε να εκτελεστούν διάφορες ενέργειες. Για τον κώδικα τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε χρειαζόμαστε την βιβλιοθήκη “TimerOne.h”. Η βιβλιοθήκη μπορεί να προστεθεί με τον εξής τρόπο.

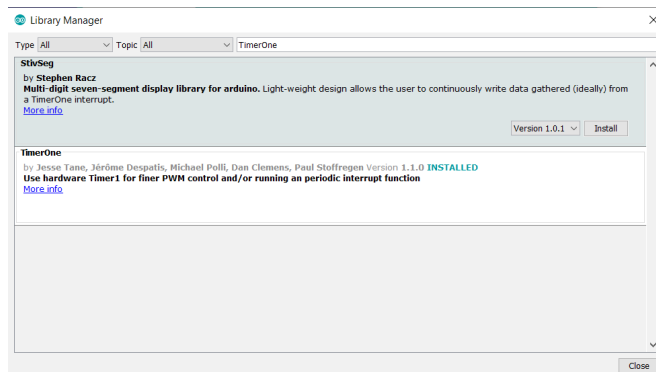
Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

1. Πατάμε κλικ στο Sketch → Include Library → Manage Libraries



Οδηγός A.1: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης TimerOne.h

2. Στο πεδίο αναζήτησης πληκτρολογούμε TimerOne και πατάμε Install στην βιβλιοθήκη.



Οδηγός A.2: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης TimerOne.h

3. Κάνουμε επανεκκίνηση του προγράμματος.

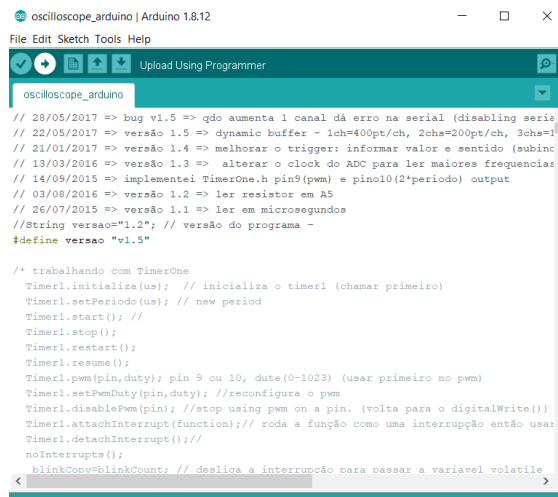
- 3^ο Βήμα: Φορτώνουμε το πρόγραμμα στο μικροελεγκτή.

Κατεβάζουμε τον κώδικα από το παρακάτω link:

https://github.com/rogeriobego/oscilloscope-arduino-processing/files/1109314/oscilloscope_arduino.zip

Ανοίγουμε το αρχείο που βρίσκουμε στο φάκελο, συνδέουμε τον μικροελεγκτή και πατάμε upload.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



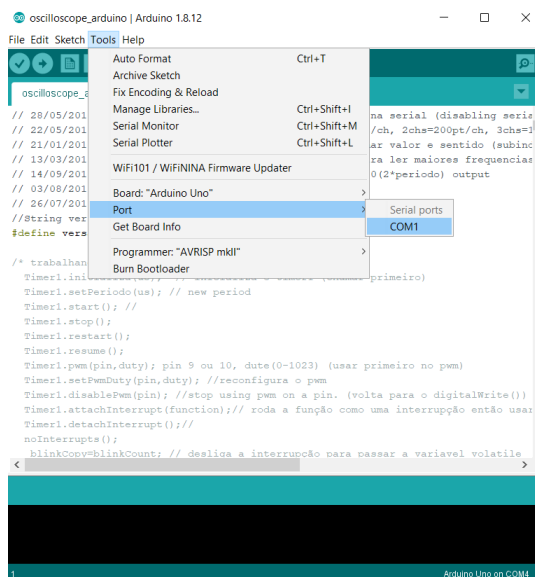
```
osilloscope_arduino | Arduino 1.8.12
File Edit Sketch Tools Help
Upload Using Programmer
osilloscope_arduino
// 28/05/2017 => bug v1.5 => qdo aumenta 1 canal dá erro na serial (disabling serial
// 22/05/2017 => versão 1.5 => dynamic buffer - 1ch=400pt/ch, 2chs=200pt/ch, 3chs=1
// 21/01/2017 => versão 1.4 => melhorar o trigger: informar valor e sentido (subinc
// 13/03/2016 => versão 1.3 => alixerar o clock do ADC para ler maiores frequencias
// 14/09/2015 => implementei TimerOne.h pin9(pwm) e pin10(2*periodo) output
// 03/08/2016 => versão 1.2 => ler resistor em A5
// 26/07/2015 => versão 1.1 => ler em microssegundos
//String versao="1.2"; // versão do programa -
#define versao "v1.5"

/* trabalhando com TimerOne
Timer1.inicializa(us); // inicializa o timer1 (chamar primeiro)
Timer1.setPeriodo(us); // new period
Timer1.start(); //
Timer1.stop();
Timer1.restart();
Timer1.resume();
Timer1.pwm(pin,duty); pin 9 ou 10, duty(0-1023) (usar primeiro no pwm)
Timer1.setPwmDuty(pin,duty); //reconfigura o pwm
Timer1.disablePwm(pin); //stop using pwm on a pin. (volta para o digitalWrite())
Timer1.attachInterrupt(function);// zoda a função como uma interrupção então usar
Timer1.detachInterrupt();//
noInterrupts();
blinkConv=blinkCount; // desliga a interrupção para passar a variavel volatila

```

Οδηγός A.3: Κώδικας στον compiler

Σε περίπτωση που μας εμφανίζει σφάλμα, σιγουρευόμαστε ότι ο Arduino βρίσκεται στο σωστό Port.



Οδηγός A.4: Αλλαγή Port

Αφού έχουμε ολοκληρώσει σωστά τα βήματα τότε το πρόγραμμα του παλμογράφου έχει περαστεί σωστά μέσα στο μικροελεγκτή.

- 4^ο Βήμα: Κατεβάζουμε το πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε ως παλμογράφο.

Για να μπορέσουμε να δούμε στον Η/Υ τις μετρήσεις τις οποίες παίρνουμε τότε πρέπει να κατεβάσουμε την εφαρμογή που μας παρέχει ο δημιουργός του συγκεκριμένου project.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις της εφαρμογής, κατεβάζουμε από τα παρακάτω link την κατάλληλη για τον υπολογιστή μας.

-Windows 32: <https://github.com/rogeriobego/oscilloscope-arduino-processing/files/1109317/application.windows32.zip>

-Windows 64: <https://github.com/rogeriobego/oscilloscope-arduino-processing/files/1109316/application.windows64.zip>

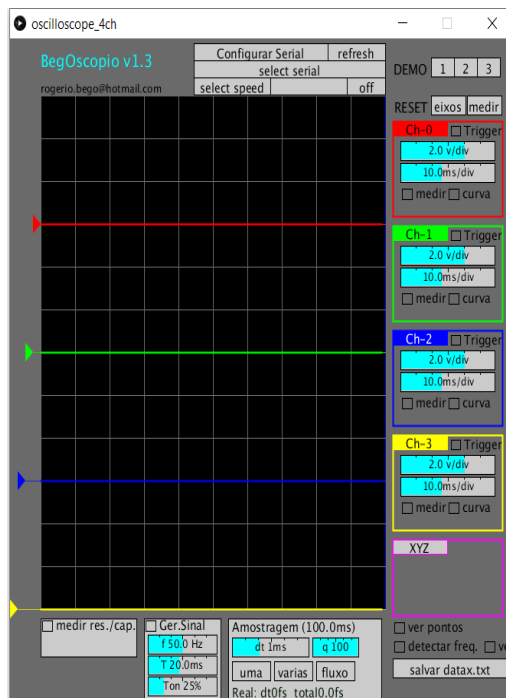
-Linux 32: <https://github.com/rogeriobego/oscilloscope-arduino-processing/files/1109315/application.linux32.zip>

-Linux 64: <https://github.com/rogeriobego/oscilloscope-arduino-processing/files/1109313/application.linux64.zip>

- 5^ο Βήμα: Χρήση του προγράμματος του παλμογράφου

Αφού κατεβάσουμε το κατάλληλο για εμάς αρχείο, ανοίγουμε το πρόγραμμα “oscilloscope_4ch.exe”.

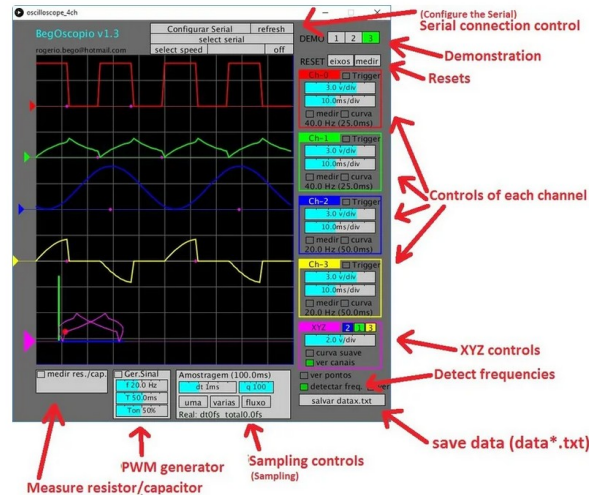
Συνδέουμε το μικροελεγκτή μας. Πατάμε στο “select serial” μέχρι να εμφανιστεί η θύρα όπου είναι συνδεδεμένος ο Arduino Uno. Έπειτα πατάμε το “select speed” και επιλέγουμε 115200. Τέλος πατάμε στο “off” ώστε να αλλάξει σε “on”



Οδηγός A.5: Πρόγραμμα παλμογράφου

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Αν όλα έχουν γίνει σωστά και υπάρχει κάτι συνδεδεμένο τότε μπορούμε να ξεκινήσουμε να παίρνουμε μετρήσεις. Αν δεν υπάρχει κάτι συνδεδεμένο στις θύρες του Arduino τότε θα δούμε θόρυβο στην οθόνη μας. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια περιγραφή του τι κάνει η κάθε λειτουργία του προγράμματος.



Οδηγός Α.6: Περιγραφή του προγράμματος

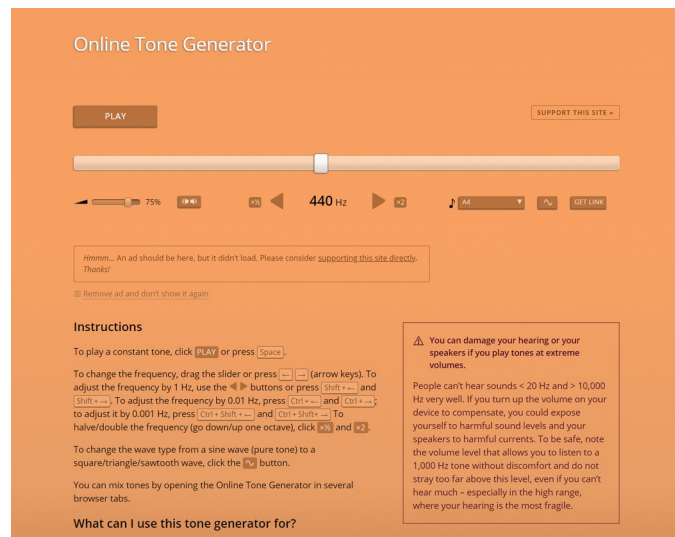
Όπως βλέπουμε στην εφαρμογή υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κανάλια τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Η είσοδος γίνεται από τις θύρες A0 έως A3 του μικροελεγκτή. Τέλος, καλό είναι να μην υπερβαίνουμε τα 5V τάση στις θύρες καθώς κινδυνεύουμε να κάψουμε αυτές και το μικροεπεξεργαστή.

Α.2 Γεννήτρια συχνοτήτων ήχου

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 3, για να μπορέσουμε να αναπαράγουμε ήχο στη συχνότητα που θέλαμε, χρησιμοποιήσαμε μία γεννήτρια συχνοτήτων ήχου την οποία βρήκαμε στο διαδίκτυο. Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε.

- 1^ο Βήμα: Επισκεπτόμαστε την ιστοσελίδα <https://www.szynalski.com/tone-generator/>
- 2^ο Βήμα: Διαλέγουμε τη συχνότητα ήχου την οποία χρειαζόμαστε και γλιστρώντας τη μπάρα, επιλέγουμε την ένταση την οποία θέλουμε, και πατάμε το κουμπί play.

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες



Φωτογραφία Α.1: Η ιστοσελίδα που χρησιμοποιήθηκε ως γεννήτρια συχνοτήτων ήχου

Αφού γίνουν τα βήματα, τότε στα ηχεία που έχουμε συνδεδεμένα στον Η/Υ ακούγεται η συχνότητα η οποία έχουμε επιλέξει.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Στο παρακάτω κεφάλαιο δίνονται αναλυτικά οι πίνακες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων.

B.1 Πίνακες πρώτης πειραματικής διαδικασίας

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε είναι τα εξής:

time (s)	C1 Voltage (V)	E (nJ)
0	0	0
10	0,004	0,38
20	0,024	13,54
30	0,092	198,90
40	0,107	269,05
50	0,092	198,90
60	0,107	269,05
70	0,092	198,90
80	0,107	269,05
90	0,122	349,77
100	0,122	349,77
110	0,122	349,77
120	0,122	349,77
130	0,136	434,66
140	0,151	535,82
150	0,136	434,66
160	0,151	535,82
170	0,136	434,66
180	0,102	244,49
190	0,136	434,66
200	0,102	244,49
210	0,151	535,82
220	0,146	500,93
230	0,151	535,82
240	0,146	500,93
250	0,18	761,40
260	0,161	609,14
270	0,18	761,40
280	0,161	609,14
290	0,146	500,93
300	0,161	609,14
310	0,146	500,93
320	0,161	609,14

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

330	0,122	349,77
340	0,146	500,93
350	0,122	349,77
360	0,146	500,93
370	0,131	403,28
380	0,141	467,20
390	0,136	434,66
400	0,151	535,82

Πίνακας Β.1: Τάση και ενέργεια πυκνωτή 47 μ F (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

Η ενέργεια υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο (3.2) που αναλύσαμε στο κεφάλαιο 2.

Β.2 Πίνακες δεύτερης πειραματικής διαδικασίας

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε είναι τα εξής:

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(nJ)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0	0,00
	30	0,03	21,15
	60	0,06	84,60
	90	0,082	158,01
	120	0,102	244,49
	150	0,122	349,77
	180	0,138	447,53
	210	0,15	528,75
	240	0,162	616,73
	270	0,176	727,94
	300	0,188	830,58
	330	0,196	902,78
	360	0,212	1.056,18
	390	0,224	1.179,14
	420	0,236	1.308,86
	450	0,248	1.445,34
	480	0,256	1.540,10
	510	0,268	1.687,86
	540	0,28	1.842,40
	570	0,292	2.003,70
600	0,3	2.115,00	
630	0,308	2.229,30	
660	0,316	2.346,62	
690	0,316	2.346,62	

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	720	0,324	2.466,94
	750	0,332	2.590,26
	780	0,332	2.590,26
	810	0,332	2.590,26
	840	0,34	2.716,60
	870	0,348	2.845,94
	900	0,348	2.845,94
	930	0,352	2.911,74
Εκφόρτιση Πυκνωτή	990	0,304	2.171,78
	1050	0,272	1.738,62
	1110	0,244	1.399,10
	1170	0,22	1.137,40
	1230	0,2	940,00
	1290	0,176	727,94
	1350	0,16	601,60
	1410	0,144	487,30
	1470	0,128	385,02
	1530	0,12	338,40
	1590	0,112	294,78
	1650	0,096	216,58
	1710	0,084	165,82
	1770	0,08	150,40
	1830	0,072	121,82
	1890	0,064	96,26
	1950	0,06	84,60
	2010	0,052	63,54
	2070	0,048	54,14
	2130	0,044	45,50
2190	0,04	37,60	
2250	0,032	24,06	

Πίνακας Β.2: Τάση και ενέργεια πυκνωτή 47μF (κύκλωμα 3.1) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

Β.3 Πίνακες τρίτης πειραματικής διαδικασίας

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε είναι τα εξής:

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(nJ)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0	0,00
	30	0,04	37,60
	60	0,064	96,26
	90	0,092	198,90
	120	0,108	274,10

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	150	0,128	385,02
	180	0,144	487,30
	210	0,156	571,90
	240	0,168	663,26
	270	0,172	695,22
	300	0,184	795,62
	330	0,196	902,78
	360	0,204	977,98
	390	0,204	977,98
	420	0,212	1.056,18
	450	0,22	1.137,40
	480	0,228	1.221,62
	510	0,236	1.308,86
	540	0,236	1.308,86
	570	0,24	1.353,60
	600	0,244	1.399,10
	630	0,252	1.492,34
	660	0,252	1.492,34
	690	0,26	1.588,60
	720	0,268	1.687,86
	750	0,272	1.738,62
	780	0,276	1.790,14
	810	0,284	1.895,42
	840	0,284	1.895,42
	870	0,292	2.003,70
	900	0,296	2.058,98
	930	0,3	2.115,00
Εκφόρτιση Πυκνωτή	990	0,3	2.115,00
	1050	0,3	2.115,00
	1110	0,3	2.115,00
	1170	0,284	1.895,42
	1230	0,256	1.540,10
	1290	0,236	1.308,86
	1350	0,204	977,98
	1410	0,188	830,58
	1470	0,168	663,26
	1530	0,152	542,94
	1590	0,14	460,60
	1650	0,124	361,34
	1710	0,112	294,78
	1770	0,1	235,00
	1830	0,092	198,90
	1890	0,08	150,40

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	1950	0,072	121,82
	2050	0,06	84,60
	2150	0,052	63,54
	2250	0,044	45,50
	2350	0,036	30,46
	2450	0,032	24,06

Πίνακας Β.3: Τάση και ενέργεια πυκνωτή 47μF (κύκλωμα 3.3) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με το χέρι

Β.4 Πίνακες τέταρτης πειραματικής διαδικασίας

Β.4.1 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 0,47μF – 47 μF

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(μJ)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0,008	0
	30	0,136	0,43
	60	0,232	1,26
	90	0,352	2,91
	120	0,44	4,55
	150	0,512	6,16
	180	0,6	8,46
	210	0,672	10,61
	240	0,736	12,73
	270	0,8	15,04
	300	0,86	17,38
	330	0,9	19,04
	360	0,92	19,89
	390	0,94	20,76
	420	1	23,5
	450	1	23,5
	480	1,04	25,42
	510	1,08	27,41
	540	1,16	31,62
	570	1,16	31,62
Εκφόρτιση	600	1,2	33,84
	630	1,2	33,84
	660	1,16	31,62
	690	1,16	31,62
	720	1,2	33,84
	750	1,16	31,62
	780	1,04	25,42
	810	1	23,5

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	840	0,94	20,76
	870	0,9	19,04
	900	0,86	17,38
	930	0,82	15,8
	990	0,74	12,87
	1050	0,66	10,24
	1110	0,6	8,46
	1170	0,58	7,91
	1230	0,54	6,85
	1290	0,46	4,97
	1350	0,42	4,15
	1410	0,4	3,76
	1470	0,36	3,05
	1530	0,34	2,72
	1590	0,3	2,12
	1650	0,28	1,84
	1710	0,26	1,59
	1770	0,24	1,35
	1830	0,22	1,14
	1890	0,2	0,94
	1950	0,2	0,94
	2010	0,18	0,76
	2070	0,16	0,6
	2130	0,16	0,6
	2190	0,14	0,46

Πίνακας Β.4: Τάση και ενέργεια πυκνωτή 47 μ F (κύκλωμα 3.4) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W

Β.4.2 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 1 μ F – 47 μ F

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(μ J)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0	0,00
	30	0,016	0,01
	60	0,112	0,29
	90	0,232	1,26
	120	0,344	2,78
	150	0,4	3,76
	180	0,584	8,01
	210	0,664	10,36
	240	0,72	12,18
	270	0,736	12,73

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	300	0,76	13,57
	330	0,704	11,65
	360	0,704	11,65
	390	0,736	12,73
	420	0,76	13,57
	450	0,776	14,15
	480	0,8	15,04
Εκφόρτιση Πυκνωτή	510	0,768	13,86
	540	0,712	11,91
	570	0,68	10,87
	600	0,648	9,87
	630	0,608	8,69
	660	0,584	8,01
	690	0,544	6,95
	720	0,52	6,35
	750	0,496	5,78
	780	0,472	5,24
	810	0,44	4,55
	840	0,424	4,22
	870	0,392	3,61
	900	0,376	3,32
	930	0,36	3,05
	990	0,336	2,65
	1050	0,304	2,17
	1110	0,272	1,74
	1170	0,256	1,54
	1230	0,224	1,18
	1290	0,2	0,94
	1350	0,184	0,80
	1410	0,168	0,66
	1470	0,152	0,54
	1530	0,136	0,43
	1590	0,128	0,39
	1650	0,112	0,29
	1710	0,1	0,24
1770	0,086	0,17	
1830	0,072	0,12	
1890	0,0565	0,08	
1950	0,042	0,04	
2010	0,029	0,02	
2070	0,013	0,00	
2130	0,004	0,00	
2190	0	0,00	

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Πίνακας Β.5: Τάση και ενέργεια πυκνωτή 47μF (κύκλωμα 3.5) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου 5W

B.4.3 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών 2,2μF – 47μF

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(μJ)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0,008	0,0
	30	0,064	0,1
	60	0,168	0,7
	90	0,272	1,7
	120	0,36	3,0
	150	0,4	3,8
	180	0,48	5,4
	210	0,568	7,6
	240	0,584	8,0
	270	0,608	8,7
	300	0,656	10,1
	330	0,688	11,1
	360	0,736	12,7
	390	0,808	15,3
	420	0,86	17,4
	450	0,94	20,8
	480	1	23,5
	510	1,04	25,4
	540	1,08	27,4
	570	1,1	28,4
	600	1,2	33,8
630	1,24	36,1	
660	1,28	38,5	
690	1,3	39,7	
720	1,32	40,9	
750	1,32	40,9	
780	1,4	46,1	
810	1,46	50,1	
840	1,56	57,2	
870	1,66	64,8	
900	1,66	64,8	
930	1,66	64,8	
990	1,66	64,8	
Εκφόρτι	1050	1,48	51,5
	1110	1,32	40,9
	1170	1,22	35,0

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

	1230	1,08	27,4
	1290	0,96	21,7
	1350	0,9	19,0
	1410	0,8	15,0
	1470	0,72	12,2
	1530	0,66	10,2
	1590	0,62	9,0
	1650	0,56	7,4
	1710	0,52	6,4
	1770	0,46	5,0
	1830	0,42	4,1
	1890	0,38	3,4
	1950	0,38	3,4
	2010	0,34	2,7
	2070	0,3	2,1
	2130	0,28	1,8
	2190	0,26	1,6
	2250	0,24	1,4
	2310	0,22	1,1
	2370	0,22	1,1
	2430	0,2	0,9
	2490	0,18	0,8
	2550	0,16	0,6
	2610	0,16	0,6
	2670	0,16	0,6
	2730	0,16	0,6

Πίνακας Β.6: Τάση και ενέργεια πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.6) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου $5W$

Β.4.4 Μετρήσεις με ζεύγος πυκνωτών $47\mu F - 0,47\mu F$

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Time (s)	C1 Voltage (V)	E(μJ)
Φόρτιση Πυκνωτή	0	0	0,00
	30	0,2	0,09
	60	1,76	7,28
Εκφόρτιση Πυκνωτή	90	1,28	3,85
	120	1,2	3,38
	150	0,12	0,03
	180	0,08	0,02
	210	0	0,00

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Πίνακας Β.7: Τάση και ενέργεια πυκνωτή $47\mu F$ (κύκλωμα 3.7) ταλαντώνοντας τον αισθητήρα με τη χρήση ηχείου $5W$

Β.5 Πίνακες πέμπτης πειραματικής διαδικασίας

Β.5.1 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 50Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)	E(nJ)	E(nJ)
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0	0	0
1	0,072	0,088	0,064	1,22	1,82	0,96
2	0,08	0,088	0,096	1,50	1,82	2,17
3	0,08	0,096	0,096	1,50	2,17	2,17
4	0,08	0,096	0,088	1,50	2,17	1,82
5	0,08	0,096	0,088	1,50	2,17	1,82
6	0,08	0,096	0,088	1,50	2,17	1,82
7	0,08	0,096	0,088	1,50	2,17	1,82
8	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
9	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
10	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
11	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
12	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
13	0,084	0,096	0,048	1,66	2,17	0,54
14	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
15	0,08	0,096	0,048	1,50	2,17	0,54
16	0,084	0,096	0,048	1,66	2,17	0,54
17	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
18	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
19	0,076	0,096	0,056	1,36	2,17	0,74
20	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
21	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
22	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
23	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
24	0,08	0,104	0,056	1,50	2,54	0,74
25	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
26	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
27	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
28	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
29	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
30	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
31	0,084	0,096	0,056	1,66	2,17	0,74
32	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

33	0,08	0,096	0,056	1,50	2,17	0,74
34	0,08	0,088	0,064	1,50	1,82	0,96
35	0,08	0,088	0,064	1,50	1,82	0,96
36	0,08	0,088	0,064	1,50	1,82	0,96
37	0,04	0,088	0,064	0,38	1,82	0,96
38	0,004	0,024	0,048	0,00	0,14	0,54
39	0	0	0	0,00	0,00	0,00
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.8: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 50Hz

Β.5.2 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 60Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)		
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,12	0,144	0,28	3,38	4,87	18,42
2	0,132	0,16	0,304	4,09	6,02	21,72
3	0,136	0,16	0,296	4,35	6,02	20,59
4	0,136	0,16	0,288	4,35	6,02	19,49
5	0,136	0,16	0,272	4,35	6,02	17,39
6	0,128	0,152	0,272	3,85	5,43	17,39
7	0,128	0,16	0,256	3,85	6,02	15,40
8	0,124	0,16	0,24	3,61	6,02	13,54
9	0,12	0,16	0,24	3,38	6,02	13,54
10	0,12	0,16	0,24	3,38	6,02	13,54
11	0,128	0,16	0,232	3,85	6,02	12,65
12	0,124	0,16	0,24	3,61	6,02	13,54
13	0,128	0,16	0,24	3,85	6,02	13,54
14	0,124	0,16	0,232	3,61	6,02	12,65
15	0,128	0,16	0,232	3,85	6,02	12,65
16	0,132	0,16	0,24	4,09	6,02	13,54
17	0,128	0,16	0,232	3,85	6,02	12,65
18	0,136	0,16	0,24	4,35	6,02	13,54
19	0,132	0,16	0,24	4,09	6,02	13,54
20	0,136	0,16	0,224	4,35	6,02	11,79
21	0,132	0,16	0,2	4,09	6,02	9,40
22	0,132	0,168	0,224	4,09	6,63	11,79
23	0,136	0,16	0,224	4,35	6,02	11,79
24	0,132	0,168	0,208	4,09	6,63	10,17
25	0,136	0,168	0,224	4,35	6,63	11,79

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

26	0,136	0,16	0,208	4,35	6,02	10,17
27	0,136	0,168	0,208	4,35	6,63	10,17
28	0,136	0,16	0,208	4,35	6,02	10,17
29	0,136	0,16	0,2	4,35	6,02	9,40
30	0,136	0,168	0,224	4,35	6,63	11,79
31	0,132	0,168	0,208	4,09	6,63	10,17
32	0,136	0,168	0,2	4,35	6,63	9,40
33	0,136	0,16	0,208	4,35	6,02	10,17
34	0,132	0,16	0,2	4,09	6,02	9,40
35	0,136	0,16	0,224	4,35	6,02	11,79
36	0,132	0,168	0,2	4,09	6,63	9,40
37	0,132	0,096	0,032	4,09	2,17	0,24
38	0,072	0,008	0	1,22	0,02	0,00
39	0,008	0	0	0,02	0,00	0,00
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.9: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 60Hz

Β.5.3 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 70Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)	E(nJ)	E(nJ)
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0	0	0
1	0,072	0,264	0,272	1,22	16,38	17,39
2	0,132	0,304	0,408	4,09	21,72	39,12
3	0,144	0,304	0,416	4,87	21,72	40,67
4	0,14	0,32	0,424	4,61	24,06	42,25
5	0,14	0,304	0,44	4,61	21,72	45,50
6	0,14	0,304	0,432	4,61	21,72	43,86
7	0,14	0,304	0,44	4,61	21,72	45,50
8	0,144	0,296	0,432	4,87	20,59	43,86
9	0,144	0,296	0,432	4,87	20,59	43,86
10	0,14	0,296	0,432	4,61	20,59	43,86
11	0,14	0,296	0,424	4,61	20,59	42,25
12	0,14	0,296	0,432	4,61	20,59	43,86
13	0,148	0,296	0,432	5,15	20,59	43,86
14	0,152	0,296	0,416	5,43	20,59	40,67
15	0,152	0,296	0,408	5,43	20,59	39,12
16	0,152	0,296	0,416	5,43	20,59	40,67
17	0,152	0,296	0,424	5,43	20,59	42,25
18	0,152	0,288	0,408	5,43	19,49	39,12

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

19	0,152	0,288	0,416	5,43	19,49	40,67
20	0,152	0,288	0,408	5,43	19,49	39,12
21	0,152	0,272	0,424	5,43	17,39	42,25
22	0,152	0,272	0,416	5,43	17,39	40,67
23	0,152	0,288	0,408	5,43	19,49	39,12
24	0,156	0,304	0,416	5,72	21,72	40,67
25	0,156	0,304	0,408	5,72	21,72	39,12
26	0,152	0,304	0,408	5,43	21,72	39,12
27	0,152	0,304	0,408	5,43	21,72	39,12
28	0,152	0,304	0,4	5,43	21,72	37,60
29	0,152	0,304	0,416	5,43	21,72	40,67
30	0,152	0,296	0,376	5,43	20,59	33,22
31	0,148	0,304	0,408	5,15	21,72	39,12
32	0,156	0,304	0,408	5,72	21,72	39,12
33	0,156	0,304	0,416	5,72	21,72	40,67
34	0,156	0,304	0,416	5,72	21,72	40,67
35	0,156	0,304	0,408	5,72	21,72	39,12
36	0,156	0,304	0,408	5,72	21,72	39,12
37	0,156	0,304	0,32	5,72	21,72	24,06
38	0,056	0,304	0,04	0,74	21,72	0,38
39	0,012	0,304	0	0,03	21,72	0,00
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.10: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 70Hz

Β.5.4 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 80Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ) 40x40mm	E(nJ) 50x50mm	E(nJ) 60x60mm
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,156	0,416	0,4	5,72	40,67	37,60
2	0,208	0,472	0,424	10,17	52,35	42,25
3	0,208	0,488	0,464	10,17	55,96	50,59
4	0,208	0,488	0,44	10,17	55,96	45,50
5	0,204	0,512	0,432	9,78	61,60	43,86
6	0,204	0,496	0,432	9,78	57,81	43,86
7	0,204	0,496	0,416	9,78	57,81	40,67
8	0,204	0,488	0,424	9,78	55,96	42,25
9	0,204	0,488	0,432	9,78	55,96	43,86
10	0,204	0,496	0,424	9,78	57,81	42,25
11	0,204	0,496	0,432	9,78	57,81	43,86

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

12	0,2	0,488	0,432	9,40	55,96	43,86
13	0,2	0,496	0,416	9,40	57,81	40,67
14	0,2	0,496	0,456	9,40	57,81	48,86
15	0,2	0,488	0,456	9,40	55,96	48,86
16	0,2	0,496	0,424	9,40	57,81	42,25
17	0,2	0,496	0,44	9,40	57,81	45,50
18	0,2	0,512	0,432	9,40	61,60	43,86
19	0,196	0,496	0,44	9,03	57,81	45,50
20	0,2	0,512	0,432	9,40	61,60	43,86
21	0,2	0,512	0,44	9,40	61,60	45,50
22	0,2	0,496	0,416	9,40	57,81	40,67
23	0,2	0,512	0,424	9,40	61,60	42,25
24	0,2	0,52	0,448	9,40	63,54	47,17
25	0,196	0,552	0,424	9,03	71,61	42,25
26	0,196	0,56	0,416	9,03	73,70	40,67
27	0,196	0,56	0,44	9,03	73,70	45,50
28	0,196	0,552	0,44	9,03	71,61	45,50
29	0,2	0,544	0,424	9,40	69,54	42,25
30	0,2	0,544	0,432	9,40	69,54	43,86
31	0,196	0,544	0,432	9,03	69,54	43,86
32	0,196	0,544	0,432	9,03	69,54	43,86
33	0,196	0,544	0,44	9,03	69,54	45,50
34	0,196	0,544	0,448	9,03	69,54	47,17
35	0,196	0,544	0,424	9,03	69,54	42,25
36	0,2	0,536	0,448	9,40	67,51	47,17
37	0,2	0,168	0,448	9,40	6,63	47,17
38	0,192	0,024	0,064	8,66	0,14	0,96
39	0,052	0	0,008	0,64	0,00	0,02
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.11: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 80Hz

Β.5.5 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 90Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)		
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0	0	0
1	0,152	0,408	0,392	5,43	39,12	36,11
2	0,236	0,536	0,4	13,09	67,51	37,60
3	0,244	0,536	0,384	13,99	67,51	34,65

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

4	0,248	0,536	0,408	14,45	67,51	39,12
5	0,244	0,528	0,44	13,99	65,51	45,50
6	0,244	0,536	0,408	13,99	67,51	39,12
7	0,236	0,536	0,384	13,09	67,51	34,65
8	0,236	0,528	0,424	13,09	65,51	42,25
9	0,236	0,52	0,392	13,09	63,54	36,11
10	0,232	0,512	0,392	12,65	61,60	36,11
11	0,228	0,512	0,432	12,22	61,60	43,86
12	0,224	0,52	0,448	11,79	63,54	47,17
13	0,22	0,512	0,424	11,37	61,60	42,25
14	0,224	0,512	0,408	11,79	61,60	39,12
15	0,22	0,512	0,416	11,37	61,60	40,67
16	0,224	0,512	0,424	11,79	61,60	42,25
17	0,22	0,496	0,408	11,37	57,81	39,12
18	0,224	0,512	0,424	11,79	61,60	42,25
19	0,224	0,496	0,44	11,79	57,81	45,50
20	0,224	0,512	0,424	11,79	61,60	42,25
21	0,22	0,488	0,432	11,37	55,96	43,86
22	0,22	0,496	0,432	11,37	57,81	43,86
23	0,22	0,496	0,44	11,37	57,81	45,50
24	0,22	0,496	0,44	11,37	57,81	45,50
25	0,22	0,496	0,424	11,37	57,81	42,25
26	0,22	0,488	0,352	11,37	55,96	29,12
27	0,22	0,488	0,424	11,37	55,96	42,25
28	0,22	0,488	0,432	11,37	55,96	43,86
29	0,22	0,496	0,44	11,37	57,81	45,50
30	0,22	0,48	0,448	11,37	54,14	47,17
31	0,22	0,48	0,448	11,37	54,14	47,17
32	0,22	0,488	0,456	11,37	55,96	48,86
33	0,22	0,48	0,456	11,37	54,14	48,86
34	0,22	0,488	0,448	11,37	55,96	47,17
35	0,22	0,48	0,44	11,37	54,14	45,50
36	0,224	0,424	0,448	11,79	42,25	47,17
37	0,22	0,056	0,464	11,37	0,74	50,59
38	0,22	0,008	0,464	11,37	0,02	50,59
39	0,072	0	0,208	1,22	0,00	10,17
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.12: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 90Hz

Β.5.6 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 100Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης ΔΙ.ΠΑ.Ε. Παπανικολάου Γεώργιος

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)	E(nJ)	E(nJ)
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,136	0,124	0,44	4,35	3,61	45,50
2	0,164	0,328	0,536	6,32	25,28	67,51
3	0,156	0,344	0,512	5,72	27,81	61,60
4	0,156	0,336	0,512	5,72	26,53	61,60
5	0,156	0,324	0,48	5,72	24,67	54,14
6	0,156	0,316	0,472	5,72	23,47	52,35
7	0,156	0,308	0,472	5,72	22,29	52,35
8	0,152	0,304	0,472	5,43	21,72	52,35
9	0,152	0,3	0,464	5,43	21,15	50,59
10	0,156	0,3	0,472	5,72	21,15	52,35
11	0,156	0,296	0,44	5,72	20,59	45,50
12	0,156	0,296	0,44	5,72	20,59	45,50
13	0,156	0,292	0,44	5,72	20,04	45,50
14	0,152	0,292	0,432	5,43	20,04	43,86
15	0,152	0,292	0,432	5,43	20,04	43,86
16	0,152	0,288	0,432	5,43	19,49	43,86
17	0,152	0,288	0,424	5,43	19,49	42,25
18	0,148	0,284	0,424	5,15	18,95	42,25
19	0,152	0,288	0,432	5,43	19,49	43,86
20	0,148	0,284	0,44	5,15	18,95	45,50
21	0,148	0,28	0,424	5,15	18,42	42,25
22	0,144	0,28	0,424	4,87	18,42	42,25
23	0,144	0,276	0,44	4,87	17,90	45,50
24	0,14	0,284	0,432	4,61	18,95	43,86
25	0,144	0,28	0,432	4,87	18,42	43,86
26	0,144	0,28	0,432	4,87	18,42	43,86
27	0,14	0,284	0,424	4,61	18,95	42,25
28	0,136	0,284	0,432	4,35	18,95	43,86
29	0,136	0,276	0,416	4,35	17,90	40,67
30	0,136	0,28	0,408	4,35	18,42	39,12
31	0,14	0,28	0,408	4,61	18,42	39,12
32	0,14	0,28	0,408	4,61	18,42	39,12
33	0,14	0,28	0,408	4,61	18,42	39,12
34	0,14	0,284	0,408	4,61	18,95	39,12
35	0,136	0,284	0,432	4,35	18,95	43,86
36	0,044	0,28	0,408	0,45	18,42	39,12
37	0,008	0,276	0,4	0,02	17,90	37,60
38	0	0,276	0,152	0,00	17,90	5,43
39	0	0,076	0,016	0,00	1,36	0,06
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

Πίνακας Β.13: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 100Hz

B.5.7 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 110Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)	E(nJ)	E(nJ)
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,064	0,156	0,44	0,96	5,72	45,50
2	0,072	0,196	0,432	1,22	9,03	43,86
3	0,068	0,2	0,4	1,09	9,40	37,60
4	0,064	0,2	0,376	0,96	9,40	33,22
5	0,064	0,192	0,352	0,96	8,66	29,12
6	0,064	0,192	0,328	0,96	8,66	25,28
7	0,072	0,192	0,304	1,22	8,66	21,72
8	0,068	0,192	0,296	1,09	8,66	20,59
9	0,064	0,192	0,296	0,96	8,66	20,59
10	0,064	0,192	0,304	0,96	8,66	21,72
11	0,064	0,192	0,288	0,96	8,66	19,49
12	0,064	0,188	0,288	0,96	8,31	19,49
13	0,064	0,184	0,28	0,96	7,96	18,42
14	0,06	0,176	0,272	0,85	7,28	17,39
15	0,06	0,172	0,272	0,85	6,95	17,39
16	0,06	0,172	0,272	0,85	6,95	17,39
17	0,056	0,18	0,264	0,74	7,61	16,38
18	0,056	0,172	0,256	0,74	6,95	15,40
19	0,056	0,16	0,264	0,74	6,02	16,38
20	0,056	0,156	0,256	0,74	5,72	15,40
21	0,056	0,156	0,24	0,74	5,72	13,54
22	0,056	0,156	0,24	0,74	5,72	13,54
23	0,056	0,156	0,24	0,74	5,72	13,54
24	0,056	0,152	0,24	0,74	5,43	13,54
25	0,056	0,152	0,208	0,74	5,43	10,17
26	0,056	0,152	0,208	0,74	5,43	10,17
27	0,06	0,152	0,224	0,85	5,43	11,79
28	0,056	0,152	0,224	0,74	5,43	11,79
29	0,056	0,152	0,224	0,74	5,43	11,79
30	0,052	0,152	0,2	0,64	5,43	9,40
31	0,052	0,152	0,2	0,64	5,43	9,40
32	0,048	0,148	0,2	0,54	5,15	9,40
33	0,052	0,152	0,192	0,64	5,43	8,66
34	0,052	0,148	0,2	0,64	5,15	9,40

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

35	0,052	0,152	0,192	0,64	5,43	8,66
36	0,052	0,152	0,2	0,64	5,43	9,40
37	0,048	0,152	0,192	0,54	5,43	8,66
38	0,008	0,152	0,2	0,02	5,43	9,40
39	0,004	0,152	0,064	0,00	5,43	0,96
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.14: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 110Hz

B.5.8 Μετρήσεις με συχνότητα ηχείου στα 120Hz

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Time (s)	40x40mm (V)	50x50mm (V)	60x60mm (V)	E(nJ)		
				40x40mm	50x50mm	60x60mm
0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
1	0,004	0,108	0,24	0,00	2,74	13,54
2	0,004	0,124	0,224	0,00	3,61	11,79
3	0,016	0,12	0,176	0,06	3,38	7,28
4	0,016	0,12	0,16	0,06	3,38	6,02
5	0,02	0,112	0,152	0,09	2,95	5,43
6	0,016	0,112	0,136	0,06	2,95	4,35
7	0,016	0,108	0,128	0,06	2,74	3,85
8	0,016	0,108	0,12	0,06	2,74	3,38
9	0,016	0,108	0,12	0,06	2,74	3,38
10	0,016	0,104	0,136	0,06	2,54	4,35
11	0,016	0,104	0,136	0,06	2,54	4,35
12	0,012	0,108	0,152	0,03	2,74	5,43
13	0,012	0,104	0,152	0,03	2,54	5,43
14	0,012	0,1	0,152	0,03	2,35	5,43
15	0,016	0,104	0,152	0,06	2,54	5,43
16	0,016	0,104	0,144	0,06	2,54	4,87
17	0,012	0,1	0,144	0,03	2,35	4,87
18	0,016	0,104	0,136	0,06	2,54	4,35
19	0,012	0,1	0,152	0,03	2,35	5,43
20	0,016	0,096	0,144	0,06	2,17	4,87
21	0,016	0,1	0,144	0,06	2,35	4,87
22	0,016	0,1	0,136	0,06	2,35	4,35
23	0,016	0,1	0,112	0,06	2,35	2,95
24	0,016	0,1	0,104	0,06	2,35	2,54
25	0,012	0,1	0,096	0,03	2,35	2,17
26	0,016	0,1	0,096	0,06	2,35	2,17
27	0,016	0,1	0,096	0,06	2,35	2,17

Υλοποίηση Διάταξης Συλλογής Ενέργειας Από Διάφορες Ακουστικές Συχνότητες

28	0,012	0,1	0,088	0,03	2,35	1,82
29	0,012	0,1	0,088	0,03	2,35	1,82
30	0,016	0,1	0,088	0,06	2,35	1,82
31	0,016	0,1	0,096	0,06	2,35	2,17
32	0,012	0,1	0,08	0,03	2,35	1,50
33	0,012	0,1	0,08	0,03	2,35	1,50
34	0,016	0,1	0,08	0,06	2,35	1,50
35	0,012	0,1	0,08	0,03	2,35	1,50
36	0,012	0,1	0,088	0,03	2,35	1,82
37	0,016	0,1	0,08	0,06	2,35	1,50
38	0,012	0,1	0,064	0,03	2,35	0,96
39	0,012	0,028	0,008	0,03	0,18	0,02
40	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Πίνακας Β.15: Τάση και ενέργεια πυκνωτή για είσοδο αισθητήρα με προεκτάσεις 40x40mm, 50x50mm, 60x60mm σε σταθερό σημείο με έξοδο ηχείου στα 120Hz

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

Albert Malvino & David J. Bates “Ηλεκτρονική”, 7η έκδοση, Μεταφρασμένο, Εκδόσεις Τζίολα

Ιωάννου Α. & Ντάνος Γ. & Πήττας Α. & Ράπτης Στ. “Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής κατεύθυνσης Γ΄ Τάξη Γενικού Λυκείου”, 1999, Ο.Ε.Δ.Β.

Ιστοσελίδες

Instructables.com “<https://www.instructables.com/Oscilloscope-Arduino-Processing/>”

Physhics Forums “<https://www.physicsforums.com/threads/estimating-the-damping-ratio-from-the-waveform-graph.703178/>”

Wikipedia “<https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>”