

Ο κώδικας σε *python* για την εξαγωγή των γραφικών βρίσκεται στο [GitHub](#).

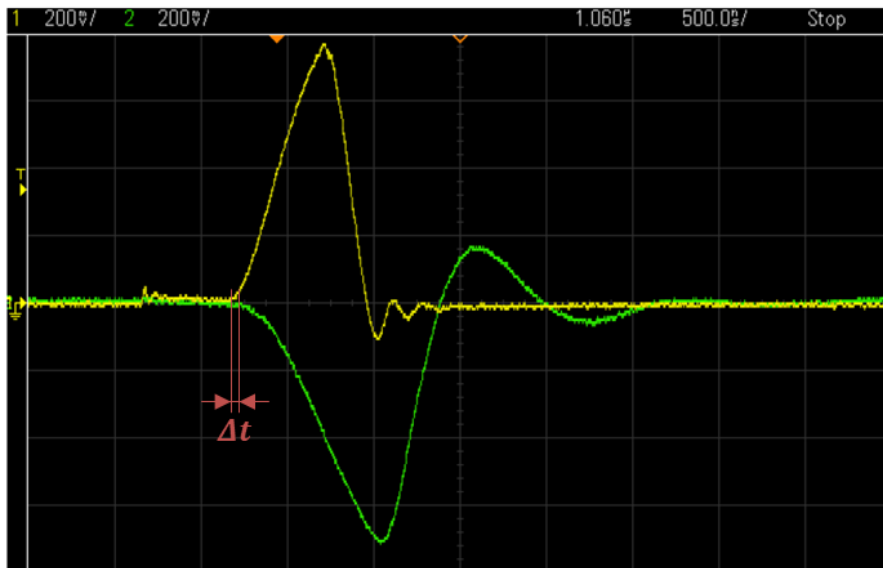
1.1 Κατασκευή διάταξης

1.1.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων συνδέσαμε το πηνίο διέγερσης με το κύκλωμα διέγερσης. Στο κανάλι 1 (κίτρινο) του παλμογράφου βάζουμε το πηνίο διέγερσης και στο κανάλι 2 (πράσινο) το πηνίο λήψης. Αρχικά τροφοδοτούμε το πηνίο διέγερσης με παλμικό σήμα τάσης $V_{in_pp} = 5V$, διάρκειας παλμού $w = 1\mu s$ και συχνότητας $f = 1kHz$ (βήμα 4). Στη συνέχεια απομακρύνουμε το πηνίο διέγερσης στα $100mm$ (βήμα 5) και στα $200mm$ (βήμα 6) και παρατηρούμε το σήμα από το πηνίο λήψης.

1.1.2 Επεξεργασία μετρήσεων

1. Στην εικόνα 1 βλέπουμε το σήμα από το πηνίο διέγερσης (κίτρινο) και το σήμα από το πηνίο λήψης (πράσινο).



Εικόνα 1: Σήμα από το πηνίο διέγερσης (κίτρινο) και το σήμα από το πηνίο λήψης (πράσινο) από το βήμα 4.

Παρατηρούμε πως:

- Το σήμα λήψης έχει διαφορά φάσης 180° από το σήμα διέγερσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το σήμα που λαμβάνει το πηνίο λήψης είναι αποτέλεσμα ανάκλασης του σήματος διέγερσης στις άκρες του μαγνητικού σύρματος που χρησιμοποιούμε στη πειραματική διάταξη.

- Ακόμα, το σήμα λήψης παρουσιάζει dispersion, δηλαδή έχει μεγαλύτερη διάρκεια από το σήμα διέγερσης καθώς το σήμα λήψης είναι αποτέλεσμα άθροισης πολλαπλών ανακλάσεων. Το σήμα λήψης είναι αποτέλεσμα συνέλιξης ως προς τον χρόνο ή τον χώρο. Πιο αναλυτικά τη χρονική στιγμή t_1 έχω ένα μικρό ελαστικό που δημιουργήθηκε κατά μήκος του υλικού το οποίο σπάει σε δύο ισόποσα κύματα τα οποία μεταδίδονται δεξιά και αριστερά. Τη στιγμή $2t_1$ δημιουργείται ένα λίγο μεγαλύτερο και σπάει και αυτό σε δύο που μεταδίδονται δεξιά και αριστερά και προστίθενται στα προηγούμενα.
- Τέλος η καθυστέρηση διάδοσης Δt είναι αμελητέα αφού τα δύο πηνία βρίσκονται στην άκρη του μαγνητικού σύρματος

2. Στην εικόνα 2 φαίνεται το σήμα λήψης για απόσταση 100mm μεταξύ πηνίου λήψης και διέγερσης (βήμα 5).

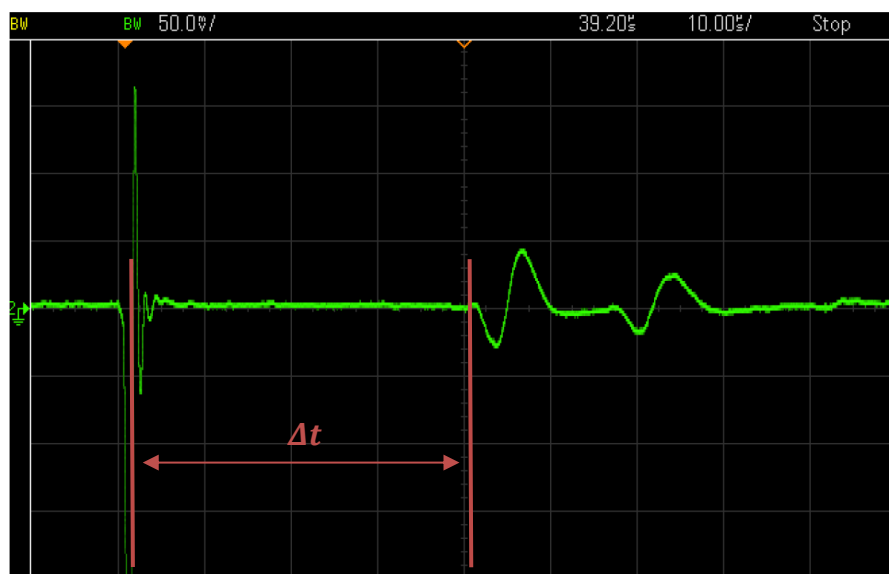


Εικόνα 2: Σήμα από το πηνίο λήψης για απόσταση 100mm μεταξύ πηνίου λήψης και διέγερσης

Παρατηρούμε:

- Έχουμε και πάλι dispersion του σήματος λήψης για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Στην εικόνα 2 μπορούμε να διακρίνουμε ευκρινώς 3 παλμοί:
 - > Ο παλμός 1 είναι η επίδραση του πηνίου διέγερσης στο πηνίο λήψης λόγω επαγωγής μαγνητικού πεδίου από το πηνίο διέγερσης στο πηνίο λήψης.
 - > Ο παλμός 2 είναι το βασικό σήμα λήψης, είναι δηλαδή το ελαστικό κύμα που διαδίδεται στο MDL υλικό. Σε σχέση με τον παλμό 1 είναι αναστραμμένος ως προς x και ως προς y . Η αναστροφή ως προς x οφείλεται στην ανάκλαση του σήματος. Πιο αναλυτικά αν χωρίσουμε το σήμα 1 σε 5 peaks παρατηρούμε πως το peak no5 έρχεται στην πρώτη θέση, το peak no4 στη δεύτερη κ.ο.κ. Η αναστροφή ως προς y οφείλεται στη διαφορά φάσης των 180° που έχουν τα δύο σήματα.

- > Ο παλμός 3 έχει αντίστοιχη μορφολογία με τον παλμό 2 αλλά είναι αποτέλεσμα δεύτερης ανάκλασης.
 - Ο παλμός 1 εμφανίζεται σχεδόν ακαριαία ενώ ο παλμός 2 με μία καθυστέρηση. Αυτό συμβαίνει γιατί ο παλμός 1 είναι αποτέλεσμα ηλεκτρομαγνητικής σύζευξης και μεταδίδεται με την ταχύτητα του φωτός ενώ ο παλμός 2 μεταδίδεται με την ταχύτητα του ήχου εντός του υλικού.
 - Ακόμα, παρατηρούμε η ένταση των σημάτων μειώνεται εκθετικά όπως καταδεικνύει η κόκκινη γραμμή στην εικόνα 2.
 - Τέλος, η χρονική διαφορά Δt οφείλεται στην απόσταση μεταξύ των δύο πηνίων.
- 3.** Στην εικόνα 3 φαίνεται το σήμα λήψης για απόσταση 200mm μεταξύ πηνίου λήψης και διέγερσης (βήμα 6).



Εικόνα 3: Σήμα από το πηνίο λήψης για απόσταση 200mm μεταξύ πηνίου λήψης και διέγερσης

Οι παρατηρήσεις είναι ίδιες με το βήμα 5 με τη μόνη διαφορά να είναι πως τώρα η απόσταση Δt είναι μεγαλύτερη, αφού η απόσταση μεταξύ των δύο πηνίων είναι διπλάσια.

4. Ένας τρόπος να μειωθούν ανακλάσεις που εμφανίζονται στα σήματα μιας διάταξης MDL είναι να μονωθούν κατάλληλα τα άκρα του MDL υλικού ώστε να απορροφάται το σήμα και να μην ανακλάται. Εκτός αυτού θα μπορούσαμε τη στιγμή που φτάνει το σήμα στο άκρου του MDL υλικού να στέλνουμε ένα σήμα αντιστάθμισης ίδιας έντασης και διαφορετικής φοράς ώστε να εξαλείφουμε το σήμα ανάκλασης.

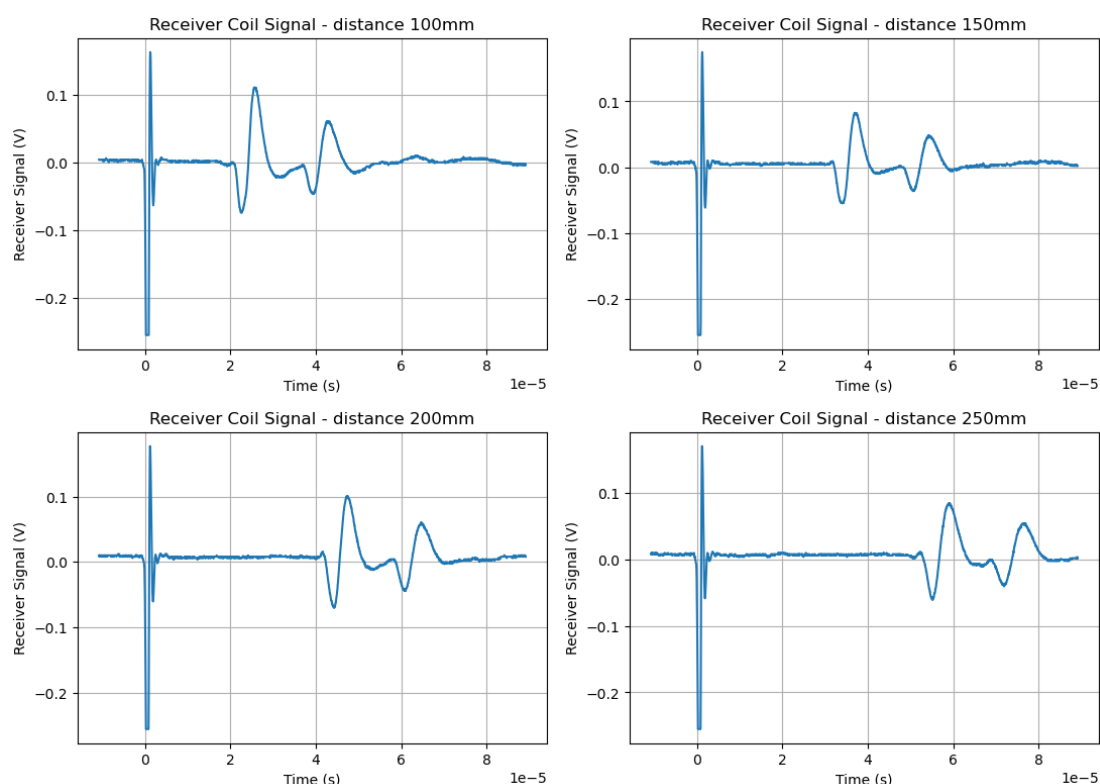
1.2 Αισθητήρας θέσης

1.2.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Διατηρούμε την διάταξη του προηγούμενου σκέλους και λαμβάνουμε το σήμα λήψης για αποστάσεις μεταξύ του πηνίου διέγερσης και πηνίου λήψης 100mm, 150mm, 200mm και 250mm.

1.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Στην εικόνα 4 φαίνονται τα σήματα λήψης για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πηνίου λήψης και πηνίου διέγερσης.

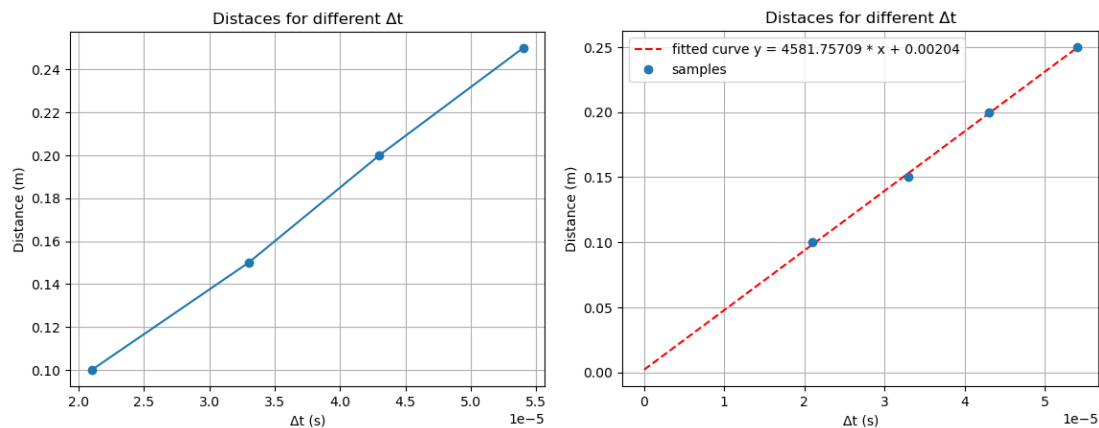


Εικόνα 4: Σήμα πηνίου λήψης για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ πηνίου λήψης και πηνίου διέγερσης

Το μέγεθος είναι διαφορετικό για τα παραπάνω 4 σήματα είναι η χρονική διαφορά μεταξύ του πρώτης ομάδας peaks και της δεύτερης. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού όπως αναφέρθηκε παραπάνω η χρονική διαφορά Δt εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ πηνίου λήψης και πηνίου διέγερσης. Στο πίνακα 1 συγκεντρώνονται οι χρονικές διαφορές για διαφορετικές αποστάσεις.

Απόσταση Δx (mm)	Δt (ms)
100	0.021
150	0.033
200	0.043
250	0.054

Πίνακας 1: Τιμές Δt για κάθε τιμή απόστασης μεταξύ πηνίου λήψης και πηνίου διέγερσης



Εικόνα 5: Απόσταση μεταξύ πηνίου λήψης και πηνίου διέγερσης ως προς Δt

Στην εικόνα 5 μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η σχέση των δύο μεγεθών είναι ανάλογη και τα δύο μεγέθη συνδέονται μεταξύ τους με μία σχέση της μορφής $y = a \cdot x$. Αναζητώντας στη βιβλιογραφία μπορούμε να βρούμε πως $\Delta x = C_{\eta\chi ou} \cdot \Delta t$ (1).

Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `curve_fit` από τη βιβλιοθήκη `scipy.optimize` της python μπορούμε να βρούμε πως η ευθεία που κάνει fit στα δεδομένα μας είναι $y = 4581.75709 \cdot x + 0.00204$ ¹. Μπορούμε να αγνοήσουμε το 0.00204 αφού γνωρίζουμε πως για τα δεδομένα μας $b = 0$ και έτσι έχουμε (2).

Αντιστοιχίζοντας τις σχέσεις (1) και (2) συμπεραίνουμε πως $C_{\eta\chi ou} = 4581.76 \text{ m/s}$ εντός του MDL υλικού που χρησιμοποιούμε.

¹ Προκύπτει σχέση της μορφής $y = a \cdot x + b$, ωστόσο εμείς γνωρίζουμε πως τα μεγέθη συνδέονται με σχέση της μορφής $y = a \cdot x$. Αυτό το σφάλμα πιθανώς προέρχεται από λάθος στη μέτρηση του Δt αφού δεν έγινε με κάποιον αυτοματοποιημένο τρόπο αλλά μόνο με οπτική παρατήρηση των γραφικών.

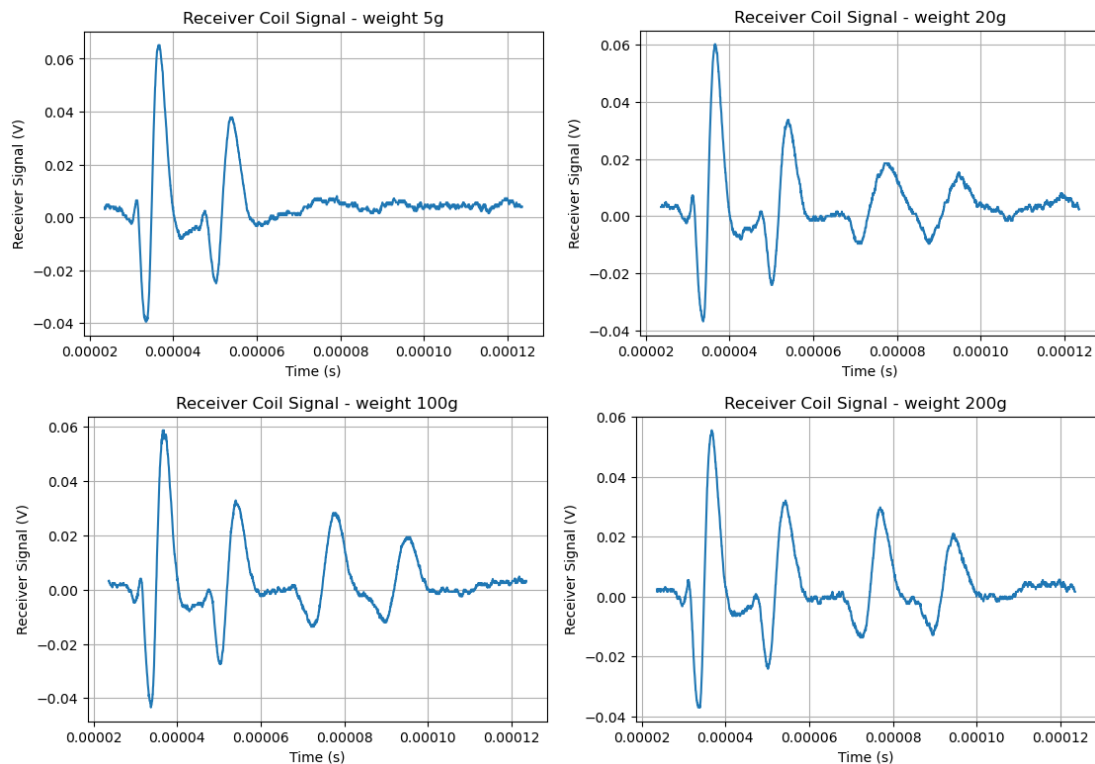
1.3 Αισθητήρας μηχανικής πίεσης

1.3.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Διατηρήστε την προηγούμενη διάταξη. Τοποθετούμε στο ελεύθερο άκρο της διάταξης πρότυπα βάρη $5g$, $20g$, $100g$ και $200g$.

1.3.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Στην εικόνα 6 βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις του σήματος λήψης για διαφορετικά βάρη που τοποθετούνται.

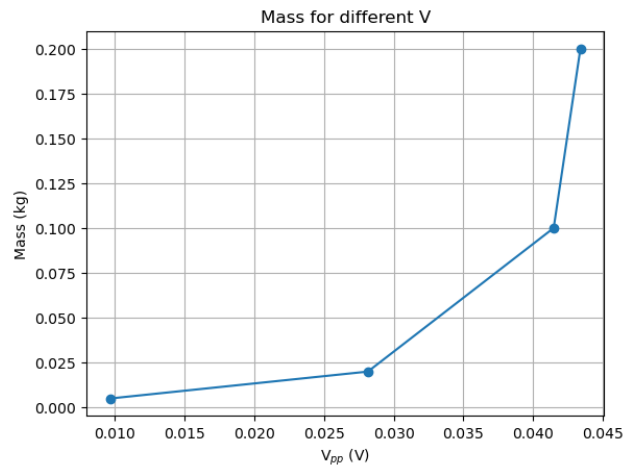


Εικόνα 6: Σήμα πηνίου λήψης για διαφορετικά βάρη

Το μέγεθος που διαφοροποιείται είναι το V_{pp} του τρίτου παλμού καθώς και ο ρυθμός εξασθένησης του σήματος. Όσο πιο πολύ βάρος τοποθετούμε τόσο πιο λίγο είναι το V_{pp} και τόσο πιο αργή η εξασθένηση. Στον πίνακα 2 φαίνονται τα V_{pp} για διαφορετικά βάρη.

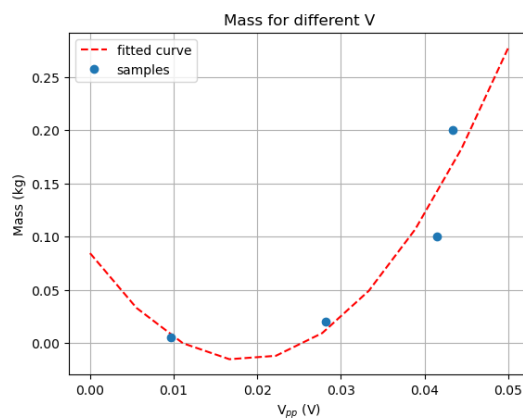
Πρότυπα βάρη (g)	V_{pp} (mV)
5	9.65
20	28.15
100	41.8
200	43.4

Πίνακας 2: Τιμές V_{pp} για διαφορετικά βάρη



Εικόνα 7: Διαφορετικά V_{pp} για διαφορετικά πρότυπα βάρη

Παρατηρούμε πως η σχέση μεταξύ V_{pp} και μάζας που τοποθετούμε στο ελεύθερο άκρο της διάταξης είναι εκθετική ή πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού. Στην εικόνα 8 φαίνεται η προσπάθεια που έγινε για να βρεθεί μία καμπύλη που να περικλείει τα δεδομένα.



Εικόνα 8: Προσπάθεια εύρεσης καμπύλης. Αποτέλεσμα $y = -10.89728 * x + 295.02948 * x^2 + 0.08432$

Εν γένει μία καλύτερη καμπύλη που θα συνδέει τα δύο μεγέθη θα ήταν μία εκθετική καμπύλη.

1.4 Εφαρμογή

Για την δημιουργία ενός πελματογράφου αξιοποιώντας τις λειτουργίες των μαγνητοσυστολικών γραμμών καθυστέρησης θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε μία πλατφόρμα κάτω από την οποία θα υπάρχουν αισθητήρες μηχανικής πίεσης. Οι αισθητήρες θα πρέπει να είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν την επιφάνεια όλου του πέλματος. Οι αισθητήρες θα δίνουν το σήμα εξόδου σε ένα λογισμικό το οποίο θα το μετατρέπει σε ασκούμενη πίεση. Έτσι το λογισμικό, αφού θα γνωρίζει την θέση του κάθε αισθητήρα και την πίεση που ασκείται σε αυτόν θα μπορεί να δημιουργήσει ένα πελματογράφημα.