

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών

Άσκηση 2: Μαγνητοσυστολικές γραμμές καθυστέρησης (MDL)

Μάθημα: Μαγνητικά Υλικά και Εφαρμογές

Εξάμηνο: 9^ο

Ονοματεπώνυμο: Αναστάσης Κονίδης (ΑΜ: 03120896)

Κωνσταντίνος Χρόνης (ΑΜ: 03120438)

Γκενάκου Ζωή (ΑΜ: 03120015)

Στυλιανός Μπούλιαρης Μαλατέστας (ΑΜ: 03119214)

Contents

1	Εισαγωγή	2
1.1	Αντικείμενο	2
1.2	Απαραίτητη Θεωρία	2
2	Πειραματικό μέρος	3
2.1	Κατασκευή Διάταξης	3
2.1.1	Διεξαγωγή Μετρήσεων	3
2.1.2	Επεξεργασία Μετρήσεων	3
2.2	Αισθητήρες Θέσης	5
2.2.1	Διεξαγωγή Μετρήσεων και Συμπεράσματα	5
2.3	Αισθητήρας Πίεσης	7
2.3.1	Διεξαγωγή Μετρήσεων και Συμπεράσματα	7
2.4	Εφαρμογή	8

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο

Σε αυτή την εργαστηριακή άσκηση θα εξετάσουμε το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε τις μαγνητοσυστολικές γραμμές καθυστέρησης (Magnetic Delay Lines - MDL). Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζουμε τις μαγνητοσυστολικές γραμμές καθυστέρησης ονομάζονται μαγνητοσυστολικά. Τα υλικά έχουν την ιδιότητα να συστέλονται και να διαστέλονται όταν τους ασκείται εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, καθώς η ευθυγράμμιση των μαγνητικών περιοχών του υλικού προκαλεί μηχανική τάση, και αντίστοιχα, όταν τους ασκείται μηχανική τάση σε κάποιον άξονα, δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο. Ίσως την πιο διαδεδομένη εφαρμογή των MDL αποτελούν τα μέσα αποθήκευσης ψηφιακής πληροφορίας π.χ. σκληρός δίσκος.

1.2 Απαραίτητη Θεωρία

Στο συγκεκριμένο πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε ένα πηνίο με λίγες σπείρες, για να δημιουργήσουμε έναν μαγνητικό παλμό, οποίος με τη σειρά του θα δημιουργήσει ελαστικά κύματα στο μαγνητοσυστολικό υλικό μας. Προκειμένου να δημιουργήσουμε τον παλμό στο πηνίο μας, το τροφοδοτούμε με μια περιοδική κρουστική συνάρτηση ρεύματος με μεγάλη σχετικά συχνότητα και μεγάλο πλάτος. Το βάθος διείσδυσης του παλμού δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma\omega\mu}} \quad (1)$$

Όπου:

- δ είναι το βάθος διείσδυσης του παλμού
- σ είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού
- μ είναι η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού,
- ω είναι η συχνότητα διέγερσης του πηνίου, άρα και του υλικού

Τα κύματα που δημιουργούνται λοιπόν ταξιδεύουν κατά μήκος του υλικού, και λόγω του πεπερασμένου μήκους του, ορισμένα από αυτά ανακλώνται και εξασθενούν λόγω εσωτερικών τριβών του υλικού.

Για να επιτύχουμε τα παραπάνω, χρειαζόμαστε προφανώς εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, με σκοπό την δημιουργία δινορρευμάτων στην επιφάνεια του υλικού καθώς και το υλικό μας να είναι σε μορφή ακουστικού κυματοδηγού.

2 Πειραματικό μέρος

2.1 Κατασκευή Διάταξης

2.1.1 Διεξαγωγή Μετρήσεων

Τροφοδοτούμε το πηνίο διέγερσης με σήμα παλμού peak-to-peak $V_{pp} = 5V$ και συχνότητα παλμού $f = 1kHz$. Σε έναν παλμογράφο καταγράφουμε τόσο το σήμα εισόδου όσο και το σήμα εξόδου.

2.1.2 Επεξεργασία Μετρήσεων

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το σήμα διέγερσης καθώς και το σήμα που παράγεται από το πηνίο λήψης κατά το βήμα 4 της διεξαγωγής του πειράματος. Κατά το βήμα αυτό, καταγράφουμε ταυτόχρονα τα σήματα διέγερσης και λήψης.

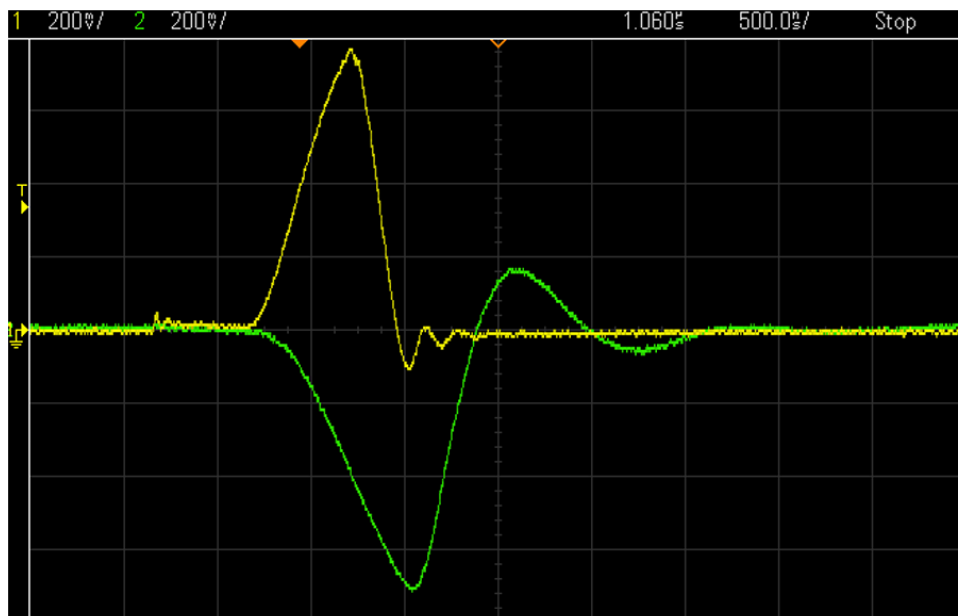


Figure 1: Αποτέλεσμα ταυτόχρονης μέτρησης του πηνίου διέγερσης (κανάλι 1) και του πηνίου λήψης (κανάλι 2)

Κατά την παραγωγή του σήματος διέγερσης παρατηρείται με μια μικρή καθυστέρηση η δημιουργία ενός όμοιου παλμού με αντίθετη τάση στο πηνίο λήψης. Αυτό το σήμα οφείλεται στη μαγνητική σύζευξη των πηνίων.

Τέλος, μετά το πέρας της διάρκειας του παλμού, όπου η τάση του πηνίου διέγερσης πέφτει στο μηδέν και η κυματομορφή του σήματος εξόδου περάσει στα θετικά, το πηνίο λήψης ανιχνεύει το οδεύον ελαστικό κύμα στο υλικό μας. Τέλος, ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να παρατηρήσουμε το οδεύον κύμα, αμέσως μετά την διέγερση δεν είναι τυχαίος και οφείλεται στην ταχύτητα των μηχανικών κυμάτων εσωτερικά υλικού μας.

Στη συνέχεια, τοποθετούμε το πηνίο διέγερσης σε απόσταση $100mm$ από το πηνίο λήψης και καταγράφουμε μόνο το σήμα από το πηνίο λήψης

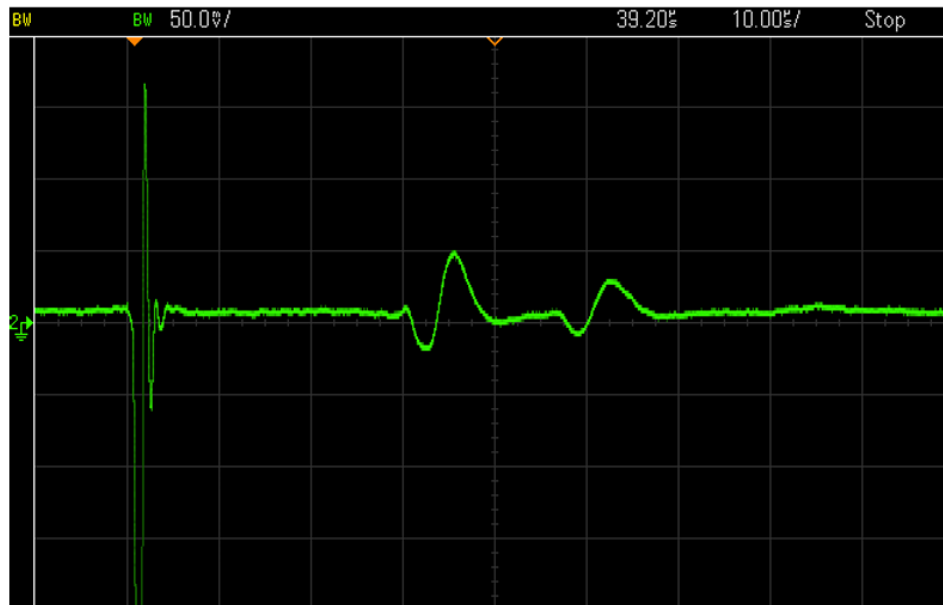


Figure 2: Απόκριση πηνίου λήψης σε απόσταση 100mm από το πηνίο διέγερσης

Ομοίως με προηγουμένως, αρχικά παρατηρούμε έναν αρνητικό παλμό που οφείλεται στη μαγνητική σύζευξη των δύο πηνίων και στη συνέχεια έχουμε μία φθίνουσα ταλάντωση στο πηνίο λήψης, η οποία όμως δεν συνδέεται με το οδεύον κύμα στο υλικό μας.

Στη συνέχεια, παρατηρούμε δύο παρόμοιους παλμούς μικρότερου πλάτους. Ο πρώτος παλμός, παρατηρείται περίπου $20\mu s$ από την πτώση του πρώτου παλμού στο 0. Η καθυστέρηση αυτή όπως και προηγουμένως οφείλεται στην ταχύτητα διάδοσης των μηχανικών κυμάτων στο υλικό μας. Καθώς δε γνωρίζουμε ακριβώς ποιο είναι το μαγνητοσυστολικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα δε μπορούμε να γνωρίζουμε ακριβώς την ταχύτητα διάδοσης κυμάτων στο υλικό, αλλά υποθέτοντας ότι το υλικό μας είναι ο σίδηρος, υπολογίζουμε πως το πηνίο μας πρέπει να ανιχνεύσει το σήμα μετά από $dt = 19.6\mu s$ θεωρώντας ταχύτητα διάδοσης $v = 5100m/s$.

Παρατηρούμε επίσης ότι ο πρώτος παλμός αποτελεί την πρώτη ανίχνευση του κύματος από το πηνίο, και ο δεύτερος, αποτελεί ανίχνευση ανάκλασης του παλμού, για αυτό και εμφανίζεται εξασθενημένος με μικρότερο πλάτος.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα τοποθετώντας αυτή τη φορά το πηνίο λήψης σε απόσταση 200mm από το πηνίο διέγερσης. Περιμένουμε ο παλμός που θα ανιχνεύσει το πηνίο λήψης μας να καθυστερήσει πολύ περισσότερο να εμφανιστεί, και ενδεχομένως να εμφανισθεί πιο εξασθενημένος, καθώς θα έχει διανύσει τη διπλάσια απόσταση, χάνοντας ενέργεια σε όλη τη διαδρομή μέχρι το πηνίο λήψης. Πράγματι, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (3), το σήμα μας ανιχνεύεται ύστερα από περίπου $40\mu s$, πράγμα λογικό, καθώς διπλασιάζοντας την απόσταση των πηνίων, χρειάζεται ο διπλάσιος χρόνος για να διανύσουμε την απόσταση καθώς η ταχύτητα διάδοσης παραμένει σταθερή. Επιπλέον είναι φανερό πως ο πρώτος παλμός είναι πράγματι ελαφρώς εξασθενημένος σε σχέση με πριν, γεγονός που οφείλεται στην επιπλέον απόσταση που χρειάστηκε να διανύσει.



Figure 3: Απόκριση πηνίου λήψης σε απόσταση 200mm από το πηνίο διέγερσης

2.2 Αισθητήρες Θέσης

Διατηρούμε τη διάταξη, και τοποθετούμε τα πηνία λήψης σε αποστάσεις 100, 150, 200, 250 από το πηνίο διέγερσης σε κάθε σύνολο μετρήσεων.

2.2.1 Διεξαγωγή Μετρήσεων και Συμπεράσματα

Μας δίνονται timeseries δεδομένα για την τάση που μετράει ο παλμογράφος σε κάθε χρονική στιγμή. Γνωρίζοντας σε ποιο σημείο ανιχνεύεται το κύμα που ταξιδεύει στο υλικό μας, και έχοντας τις χρονοσειρές, μπορούμε να υπολογίσουμε το χρονικό διάστημα που περνάει για την ανίχνευση του σήματος. Καθώς επίσης γνωρίζουμε την απόσταση που διανύσει σε κάθε περίπτωση το κύμα, καθώς και το χρόνο που χρειάζεται για να καλύψει αυτή την απόσταση, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα διάδοσης. Θεωρητικά έτσι θα μπορούσαμε να ταυτοποιήσουμε και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τόσο οι ταχύτητες διάδοσης όσο και οι χρόνοι άφιξης που υπολογίζονται για κάθε πείραμα:

Table 1: Χρόνος άφιξης ανά πείραμα και αντίστοιχη υπολογιζόμενη ταχύτητα διάδοσης

Distance (mm)	Detection Time Interval(μs)	Velocity (m/s)
100	19.20	5208
150	30.50	4918
200	40.60	4926
250	51.65	4840

Είναι φανερό ότι το μέγεθος που αλλάζει σε κάθε περίπτωση είναι ο χρόνος άφιξης του σήματος στο πηνίο λήψης. Οπότε από αυτές τις μετρήσεις μπορούμε να φτιάξουμε μια εκτίμηση

σχετικά με την απόσταση του πηνίου λήψης από το πηνίο διέγερσης, φτιάχνοντας έτσι έναν αισθητήρα θέσης. Στο διάγραμμα (4) φαίνονται γραφικά οι πειραματικές μετρήσεις μας.

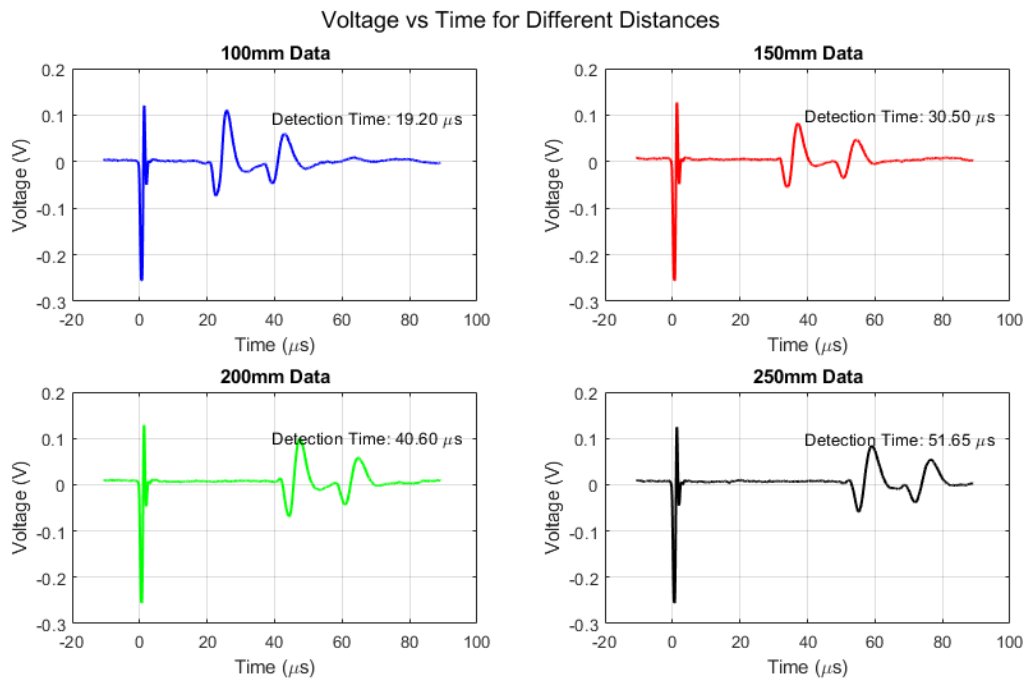


Figure 4: Πειραματικές μετρήσεις για διαφορετικές αποστάσεις πηνίου λήψης και διέγερσης

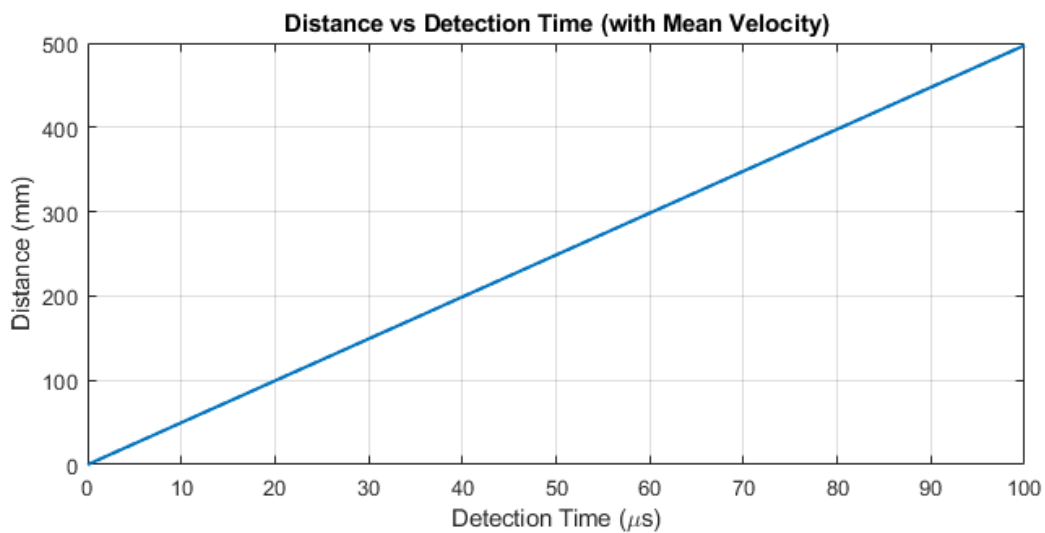


Figure 5: Συσχέτιση χρόνο χρόνου λήψης σήματος με απόσταση πηνίων

Στο διάγραμμα (5) είναι φανερό πως υπολογίζοντας τη μέση τιμή των ταχυτήτων που φαίνονται στον πίνακα (1), μπορούμε να έχουμε μια πολύ καλή μέτρηση σχετικά με την απόσταση των δύο πηνίων.

2.3 Αισθητήρας Πίεσης

2.3.1 Διεξαγωγή Μετρήσεων και Συμπεράσματα

Διατηρούμε την ίδια διάταξη και τοποθετούμε στο ελεύθερο άκρο τις διάταξης μας, βάρη με μάζα $5g$, $20g$, $100g$, $200g$ αντίστοιχα. Από το διάγραμμα (6) είναι φανερό ότι αυτό που αλλάζει ανάλογα με την πίεση είναι το πλάτος των ανακλώμενων κυμάτων που ανιχνεύει ο αισθητήρας μας. Επομένως μπορούμε να συσχετίσουμε την τάση του πρώτου ανακλούμενου κύματος, για να εκτιμήσουμε το βάρος που έχει τοποθετηθεί στην άκρη της διάταξης.

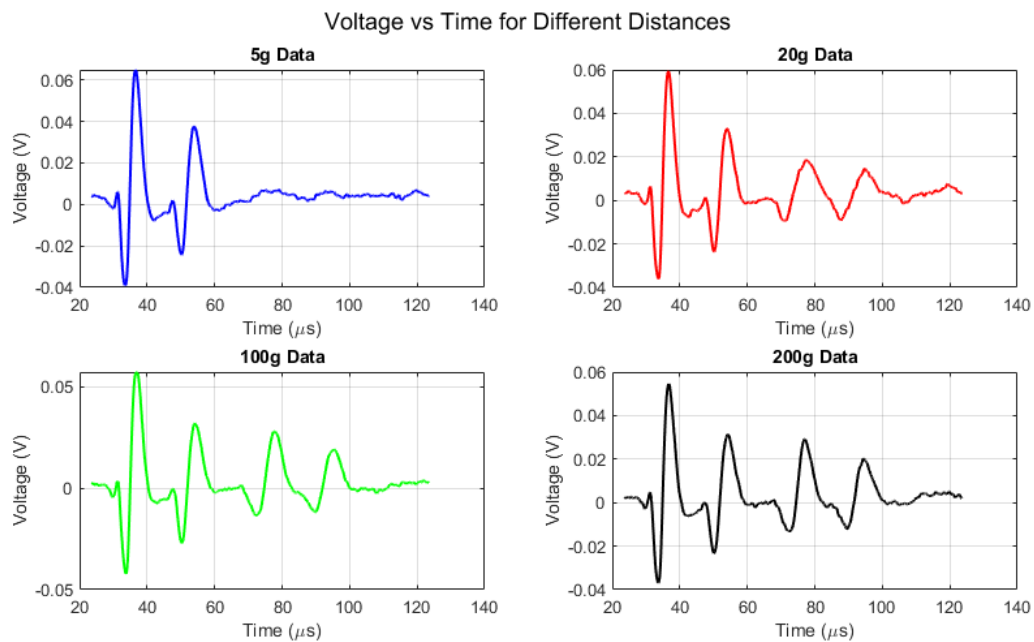


Figure 6: Πειραματικές μετρήσεις για διαφορετικές τιμές βαρών στο άκρο της διάταξης

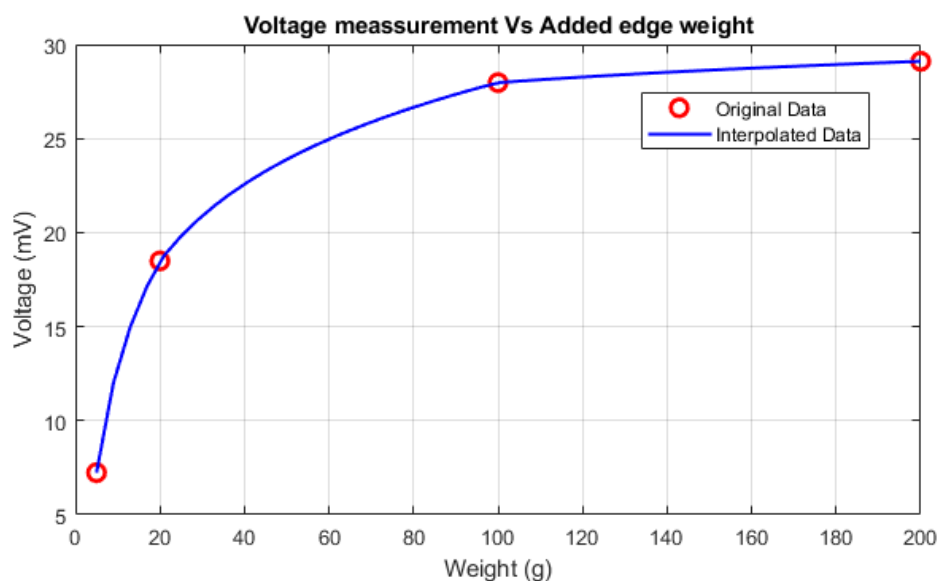


Figure 7: Συσχέτιση peak τάσης πρώτου ανακλούμενου κύματος με το βάρος στην άκρη της διάταξης

Παρατηρούμε πως καθώς προσθέτουμε βάρος, πλησιάζουμε σε κορεσμό και χάνουμε ανάλυση στις μετρήσεις μας, καθώς μικρές διαφορές στην τάση του ανακλούμενου κύματος αντιστοιχούν σε τεράστιες αποκλίσεις στο βάρος που τοποθετήθηκε. Σε μια πρακτική εφαρμογή, με τη συγκεκριμένη διάταξη, θα μπορούσαμε να πάρουμε καλή εκτίμηση για βάρη στο διάστημα $0 - 40g$ περίπου, σε αντίθεση με την εκτίμηση της θέσης, που μπορούσαμε να υπολογίσουμε με πολύ καλή ακρίβεια τη θέση.

2.4 Εφαρμογή

Σε αυτό το σημείο της αναφοράς, θα μελετήσουμε πως τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν και εξετάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός πελματογράφου. Προκειμένου να δημιουργήσουμε έναν πελματογράφο, θα χρειαστούμε μία κινητή επιφάνεια και μία μόνιμη επιφάνεια/διάταξη. Η κινητή επιφάνεια θα έχει τις επιθυμητές διαστάσεις και θα αποτελείται από ένα υλικό με παρόμοιες ιδιότητες με αυτό που χρησιμοποιήσαμε κατά την πειραματική άσκηση. Στο σταθερό μέρος θα τοποθετήσουμε πολλαπλά πηνία λήψης και στη συνέχεια θα συλλέγουμε τα σήματα αυτά και θα τα επεξεργαζόμαστε ψηφιακά. Στη συνέχεια, σε συνδυασμό με την προηγούμενη μελέτη θα μπορούμε να αναλύουμε τις τιμές του λαμβανόμενου σήματος και να εντοπίζουμε την πίεση που ασκείται σε μία επιφάνεια. Προφανώς, θα μετατρέπουμε τη κάθετη δύναμη λόγω του βάρους(μάζας) σε πίεση μέσα από το εμβαδόν που «καλύπτει» το κάθε πηνίο λήψης.