

Τεχνολογία Αισθητήρων και
Μικροσυστημάτων
Θέμα : «Μαγνητικοί Αισθητήρες μέτρησης
θέσης και πεδίου»

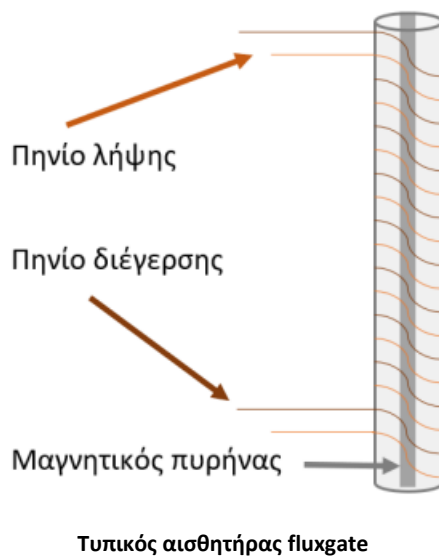


Περιεχόμενα

1. Θεωρητικό Μέρος.....	3
1.1 Αισθητήρας Πεδίου	4
1.2 Αισθητήρας Θέσης.....	5
2. Πειραματικό Μέρος.....	6
2.1 Αισθητήρας Πεδίου	6
2.1.1 Διεξαγωγή μετρήσεων	6
2.1.2 Επεξεργασία μετρήσεων.....	8
2.1.3 Εφαρμογές Αισθητήρα Πεδίου	9
2.2 Αισθητήρας Θέσης.....	10
2.2.1 Διεξαγωγή μετρήσεων	10
2.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων.....	12
2.2.3 Εφαρμογές Αισθητήρα Θέσης	12
2.3 Βρόχος Υστέρησης	13
2.3.1 Επεξεργασία μετρήσεων.....	13

1. Θεωρητικό Μέρος

Σκοπός αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι η παρουσίαση της μεθόδου λειτουργίας μαγνητικών αισθητήρων θέσης και πεδίου με χρήση αισθητηρίων πύλης-ροής (fluxgate). Οι αισθητήρες fluxgate μπορεί να αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πηνία, τα οποία αναλαμβάνουν τη διέγερση του μαγνητικού του πυρήνα και τη λήψη του τελικού σήματος. Μια τυπική διάταξη περιλαμβάνει ένα πηνίο διέγερσης και ένα πηνίο λήψης. Το ένα πηνίο περιελίσσεται πάνω από το άλλο και στο εσωτερικό τους τοποθετείται ένας μαγνητικός πυρήνας σε μορφή σύρματος ή ταινίας, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



1.1 Αισθητήρας Πεδίου

Το αισθητήριο μαγνητόμετρο πύλης-ροής αποτελείται από δύο συσπειρωμένα πηνία. Τα δύο στοιχεία είναι προσαρμοσμένα γύρω από έναν μαγνητικό πυρήνα σε μορφή δακτυλίου ή ράβδου από CoFeSiB ή FeSiB. Η λειτουργία του αισθητήρα στηρίζεται στον συμμετρικό βρόχο υστέρησης του πυρήνα και στην εύκολη μαγνήτισή του ως τον κορεσμό.

Το πηνίο διέγερσης λαμβάνει ηλεκτρικό εναλλασσόμενο σήμα τάσης, το οποίο δημιουργεί και εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του. Σε τμήμα του κύκλου διέγερσης ο πυρήνας οδηγείται σε κορεσμό, κόβοντας τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Κατά την εναλλαγή της διέγερσης, ο πυρήνας φεύγει από τον κορεσμό και άρα επιτρέπει τις πεδιακές γραμμές στο εσωτερικό του.

Η μεταβολή αυτή του πεδίου μπορεί να μετρηθεί χάρη στο πηνίο λήψης σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$V_{out}(t) = - N_0 \frac{d\Phi}{dt} = - N_0 A \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

Όπου Φ : η μαγνητική ροή

B : η μαγνητική επαγωγή

A : το εμβαδόν διατομής του πηνίου

N_0 : πλήθος σπειρών πηνίου λήψης

Η μέτρηση του επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου βασίζεται στη μέτρηση της χρονικής μεταβολής Δt μεταξύ των διαδοχικών μεγίστων και ελαχίστων του σήματος εξόδου.

Κατά την απουσία εξωτερικώς επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου, ο μαγνητικός πυρήνας θα φθάνει στις μέγιστες και ελάχιστες τιμές μαγνήτισης σε ίσα χρονικά διαστήματα, μιας και θα επηρεάζεται μόνο από το εναλλασσόμενο σήμα, που τροφοδοτεί το πηνίο διέγερσης. Άρα, η χρονική μεταβολή Δt , μεταξύ των διαδοχικών μεγίστων και ελαχίστων θα είναι μηδενική.

Αντίθετα, η επιβολή ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, που θα επιδρά στον μαγνητικό πυρήνα ταυτόχρονα με το σήμα διέγερσης, θα οδηγήσει πιο γρήγορα ή πιο αργά (αναλόγως της φοράς αυτού του πεδίου) τον μαγνητικό πυρήνα σε κορεσμό. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβληθεί και η χρονική διαφορά μεταξύ των διαδοχικών μεγίστων και ελαχίστων του σήματος εξόδου, η οποία πλέον θα είναι διάφορη του μηδενός.

1.2 Αισθητήρας Θέσης

Κάτι Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας των αισθητήρων fluxgate, η θέση του μαγνητικού πυρήνα επηρεάζει σημαντικά την απόκριση του πηνίου λήψης. Στις διατάξεις ράβδου αυτή η εξάρτηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της θέσης της ράβδου. Όταν ο μαγνητικός πυρήνας δεν βρίσκεται στο κέντρο των πηνίων διέγερσης-λήψης τότε το πλάτος του μετρούμενου σήμα εξόδου μειώνεται, ενώ όσο καλύπτει περισσότερο χώρο στο εσωτερικό των πηνίων, αυξάνεται.

Η Εξίσωση (1) μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του μήκους της μαγνητικής ράβδου που παραμένει στο εσωτερικό των πηνίων σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$V_{out}(t) = N_0 N_i A k \frac{(\mu-1)x}{L} \frac{\partial I(t)}{\partial t} \quad (2)$$

2. Πειραματικό Μέρος

Στο εργαστήριο του μαθήματος έγιναν οι κατάλληλες συνδέσεις σύμφωνα με τα βήματα, που υποδεικνύονται, και λήφθηκαν οι κατάλληλες μετρήσεις μεγεθών για τη λειτουργία του αισθητήρα fluxgate, ως αισθητήρας πεδίου και θέσης αντιστοίχως. Λόγω των συνθηκών αυτές οι μετρήσεις δόθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με το αρχείο, που παρατίθεται.

2.1 Αισθητήρας Πεδίου

Σε αυτό το μέρος του πειραματικού μέρους του εργαστηρίου λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις και γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία τους για τη χρήση του αισθητήρα fluxgate ως αισθητήρα πεδίου.

2.1.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Στο εργαστήριο ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα δίνοντας τις παρακάτω μετρήσεις για τον αισθητήρα πεδίου.

Τα βήματα, που ακολουθήθηκαν, είναι τα εξής :

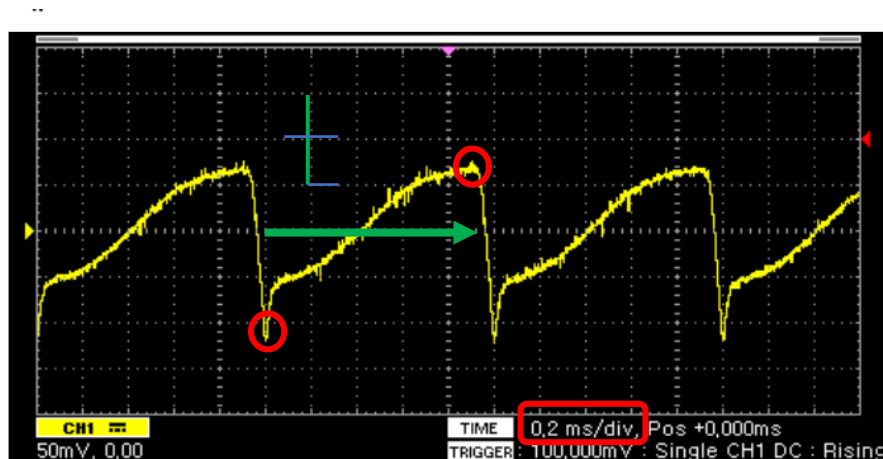
1. Σε αυτό το βήμα γίνεται η σύνδεση του πηνίου διέγερσης του αισθητήρα με τη γεννήτρια συχνοτήτων
2. Σε αυτό το βήμα γίνεται η σύνδεση του πηνίου λήψης του αισθητήρα με τον παλμογράφο
3. Σε αυτό το βήμα γίνεται η τροφοδοσία του πηνίου διέγερσης με ημιτονοειδές σήμα τάσης $V_{in_pp} = 5\text{ V}$ και δεδομένης συχνότητας f ($f = 1\text{ kHz}$ στη μία σειρά πειραματικών μετρήσεων και $f = 5\text{ kHz}$ στη άλλη σειρά πειραματικών μετρήσεων)
4. Σε αυτό το βήμα γίνεται η προσθήκη στο σήμα διέγερσης μιας συνεχούς συνιστώσας V_{DC} με ακέραιες τιμές μεταξύ του διαστήματος $[-3, 3]$, δηλαδή με βήμα 1 V , μέσω της λειτουργίας “ DC Offset ” της γεννήτριας συχνοτήτων

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα για κάθε τιμή της DC συνιστώσας τάσης, προκύπτουν κάποιες μετρήσεις με τη βοήθεια του παλμογράφου για τη χρονική διαφορά

$t_{1,2}$ μεταξύ ενός ελαχίστου και ενός διαδοχικού μεγίστου της εμφανιζόμενης κυματομορφής . Με τη βοήθεια αυτής της μετρικής υπολογίζεται η χρονική μεταβολή Δt μεταξύ διαδοχικών μεγίστων και ελαχίστων του σήματος εξόδου, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση :

$$\Delta t = \frac{T}{2} - t_{1,2} \quad (3)$$

Για τον υπολογισμό της μετρικής $t_{1,2}$ υπολογίζονται τα οριζόντια τετραγωνάκια, που χρειάζονται, για να μεταβεί το σήμα από την ελάχιστη τιμή στη μέγιστη και πολλαπλασιάζονται επί το δείκτη $\frac{ms}{div}$ του παλμογράφου, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



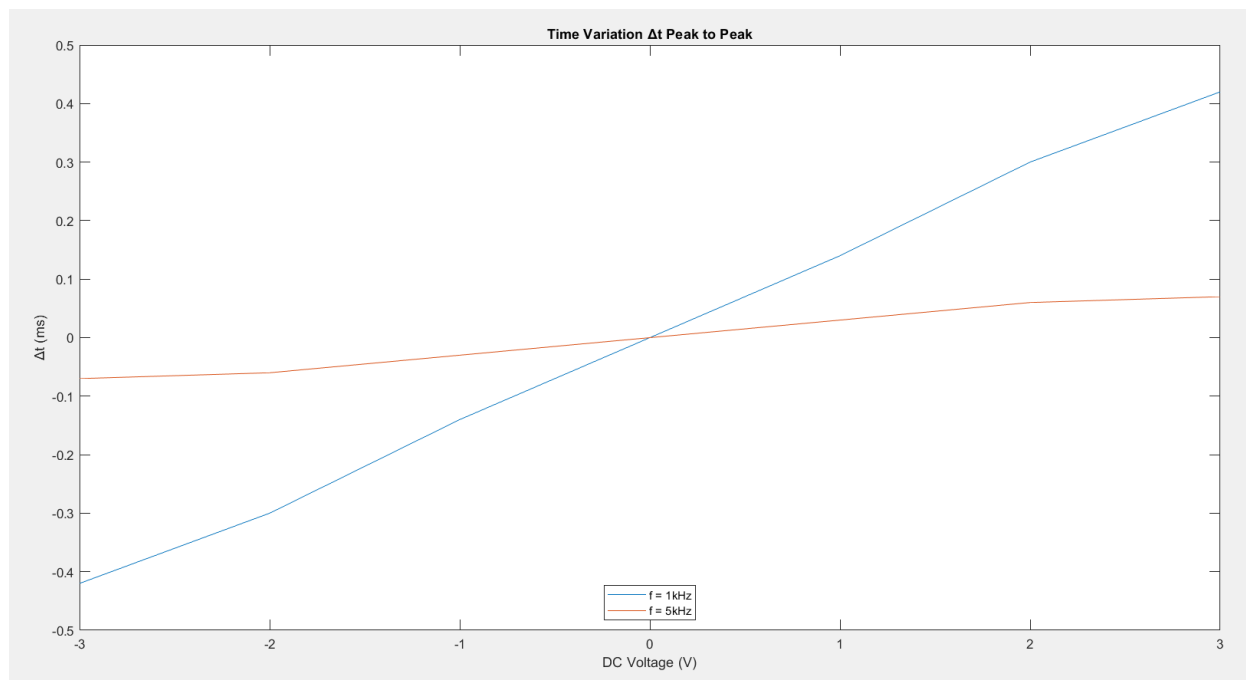
-3 V

Ακολουθώντας παρόμοια λογική για κάθε τιμές της DC συνιστώσας προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τη μετρική $t_{1,2}$ και τη χρονική μεταβολή Δt .

Αισθητήρας Πεδίου					
F = 1kHz (T = 1 msec)			F = 5kHz (T = 0.2 msec)		
V _{DC}	t _{1,2}	Δt	V _{DC}	t _{1,2}	Δt
-3	0,92	-0,42	-3	0,17	-0,07
-2	0,8	-0,3	-2	0,16	-0,06
-1	0,64	-0,14	-1	0,13	-0,03
0	0,5	0	0	0,1	0
1	0,36	0,14	1	0,07	0,03
2	0,2	0,3	2	0,04	0,06
3	0,08	0,42	3	0,03	0,07

2.1.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Σύμφωνα με τις τιμές, που υπολογίστηκαν, από τις γραφικές παραστάσεις, απεικονίζονταν στον παλμογράφο, και με τη βοήθεια του λογισμικού μαθηματικής ανάλυσης δεδομένων Matlab προέκυψαν οι ακόλουθες καμπύλες για τη χρονική μεταβολή Δt σε σχέση με τις δύο διαφορετικές τιμές για τη συχνότητα.



Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η αύξηση της DC συνιστώσας τάσης προκαλεί σχεδόν γραμμική αύξηση της χρονικής μεταβολής Δt . Αυτή η γραμμικότητα είναι επιθυμητή μιας και εξασφαλίζει ομαλή απόκριση σε όλο το εύρος εισόδων, καθώς και ομοιομορφία στα σφάλματα μέτρησης, αυξάνοντας την ακρίβεια του αισθητήρα. Ακόμη, φαίνεται ότι η απόκριση είναι συμμετρική, γεγονός που δείχνει και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου στην διεύθυνση της ράβδου. Τέλος, φαίνεται ότι η καμπύλη, που αντιστοιχεί σε συχνότητα $f = 1\text{kHz}$, έχει μεγαλύτερη κλίση από την καμπύλη, που αντιστοιχεί σε συχνότητα $f = 5\text{kHz}$.

2.1.3 Εφαρμογές Αισθητήρα Πεδίου

Οι αισθητήρες fluxgate, που αξιοποιούνται για την μέτρηση πεδίου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπως :

- Σχεδιασμός μαγνητικής πυξίδας ακριβείας
- Σχεδιασμός μαγνητόμετρων ακριβείας

Μάλιστα, πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός μαγνητόμετρων ακριβείας βρίσκει εφαρμογές σε πολλές εφαρμογές ελέγχου και διακρίβωσης ηλεκτρικών μηχανών (όπως και ο αισθητήρας Hall) ή ακόμα και στη βαθμονόμηση άλλων αισθητήρων

2.2 Αισθητήρας Θέσης

Σε αυτό το μέρος του πειραματικού μέρους του εργαστηρίου λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις και γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία τους για τη χρήση του αισθητήρα fluxgate ως αισθητήρα πεδίου.

2.2.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

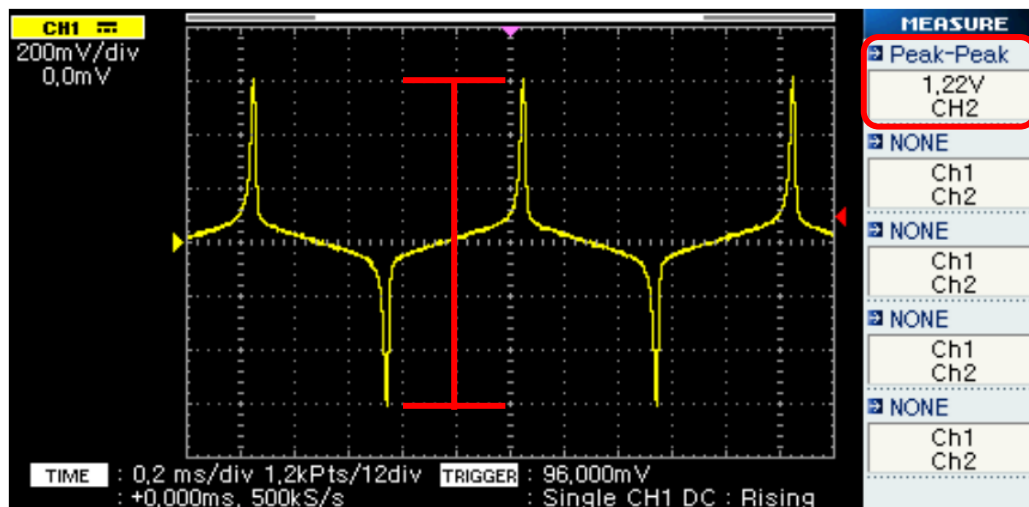
Στο εργαστήριο ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα δίνοντας τις παρακάτω μετρήσεις για τον αισθητήρα θέσης.

Τα βήματα, που ακολουθήθηκαν, είναι τα εξής :

1. Σε αυτό το βήμα γίνεται η σύνδεση του πηνίου διέγερσης του αισθητήρα με τη γεννήτρια συχνοτήτων
2. Σε αυτό το βήμα γίνεται η σύνδεση του πηνίου λήψης του αισθητήρα με τον παλμογράφο
3. Σε αυτό το βήμα γίνεται η τροφοδοσία του πηνίου διέγερσης με ημιτονοειδές σήμα τάσης $V_{in_pp} = 5\text{ V}$ και δεδομένης συχνότητας f ($f = 1\text{ kHz}$ στη μία σειρά πειραματικών μετρήσεων και $f = 5\text{ kHz}$ στη άλλη σειρά πειραματικών μετρήσεων)
4. Σε αυτό το βήμα γίνεται η σταδιακή αφαίρεση του μαγνητικού πυρήνα μέχρι την απόσταση $x = 50\text{ mm}$ με βήμα 5 mm

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα για κάθε τιμή της απόστασης του μαγνητικού πυρήνα γίνεται η καταγραφή των μετρήσεων της τάσης εξόδου V_{out_pp} για κάθε θέση, με τη βοήθεια του παλμογράφου, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Για τον υπολογισμό της μετρικής V_{out_pp} διαβάζεται η ένδειξη του παλμογράφου για την τιμή τάσης peak to peak, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



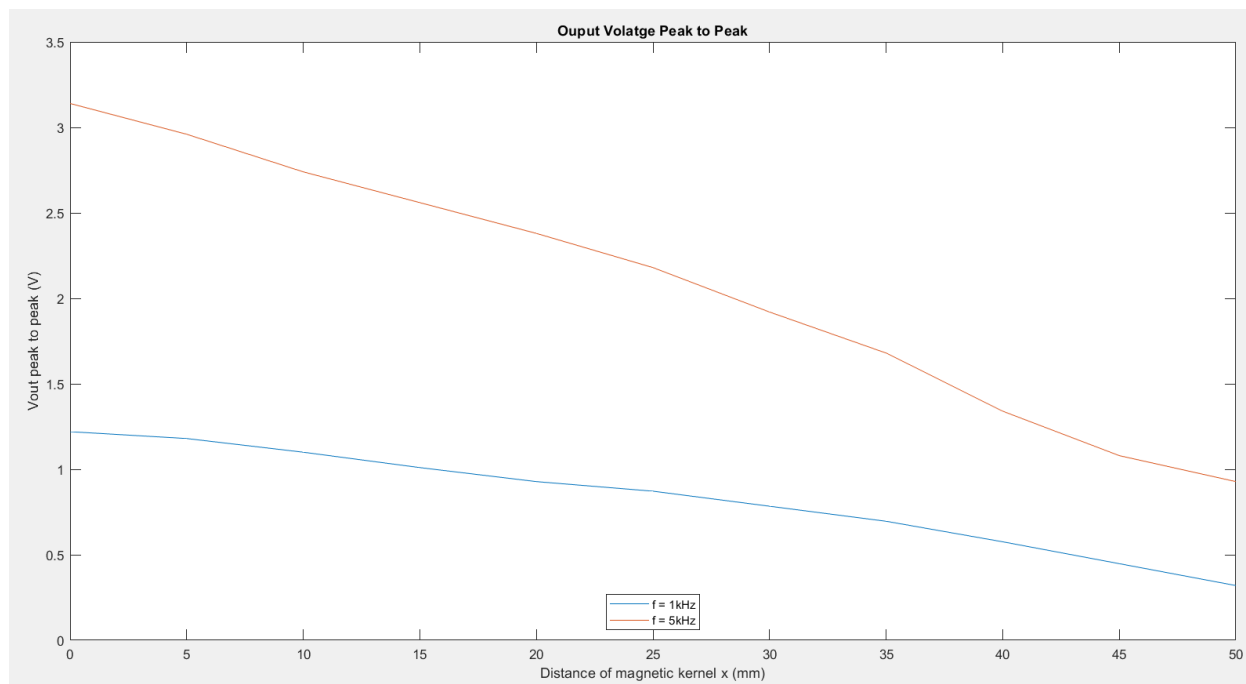
0 mm

Ακολουθώντας παρόμοια λογική για κάθε τιμή της απόστασης του μαγνητικού πυρήνα προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τη μετρική V_{out_pp} .

Αισθητήρας Θέσης			
F = 1kHz (T = 1 msec)		F = 5kHz (T = 0.2 msec)	
x (mm)	V_{out_pp} (V)	x (mm)	V_{out_pp} (V)
0	1,22	0	3,14
5	1,18	5	2,96
10	1,10	10	2,74
15	1,01	15	2,56
20	0,928	20	2,38
25	0,872	25	2,18
30	0,784	30	1,92
35	0,696	35	1,68
40	0,576	40	1,34
45	0,448	45	1,08
50	0,320	50	0,928

2.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Σύμφωνα με τις τιμές, που υπολογίστηκαν, από τις γραφικές παραστάσεις, απεικονίζονταν στον παλμογράφο, και με τη βοήθεια του λογισμικού μαθηματικής ανάλυσης δεδομένων Matlab προέκυψαν οι ακόλουθες καμπύλες για της τάσης εξόδου του σήματος V_{out_pp} σε σχέση με τις δύο διαφορετικές τιμές για τη συχνότητα.



Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι μείωση στο μήκος της ράβδου εκτός των πηνίων προκαλεί σχεδόν γραμμική μείωση στην τάση εξόδου V_{out_pp} του σήματος λήψης, κάτι που ήταν αναμενόμενο όπως εξηγήθηκε από τη θεωρία. Ακόμη, φαίνεται ότι η καμπύλη, που αντιστοιχεί σε συχνότητα $f = 1\text{kHz}$, έχει μικρότερη κλίση από την καμπύλη, που αντιστοιχεί σε συχνότητα $f = 5\text{kHz}$.

2.2.3 Εφαρμογές Αισθητήρα Θέσης

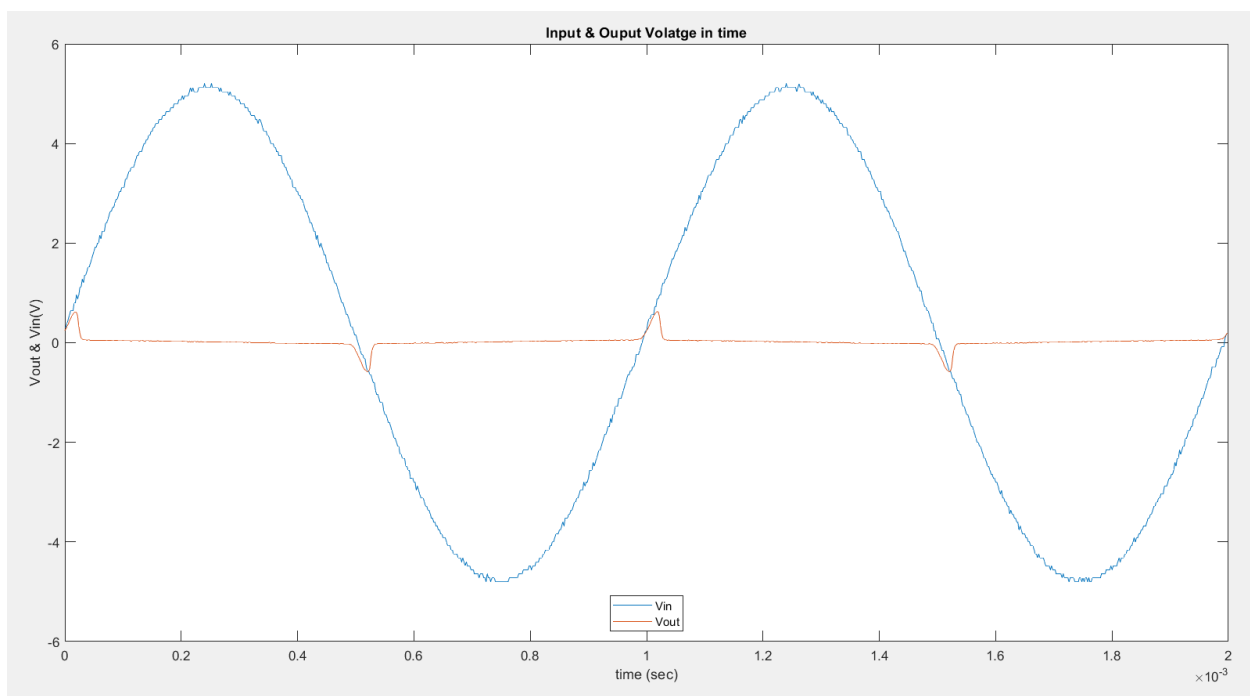
Οι αισθητήρες fluxgate, που αξιοποιούνται για την μέτρηση θέσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπως η αναγνώριση νομισμάτων.

2.3 Βρόχος Υστέρησης

Σε αυτό το μέρος της εργαστηριακής άσκησης θα σχεδιαστεί και θα αναλυθεί ο βρόγχος ανάδρασης .

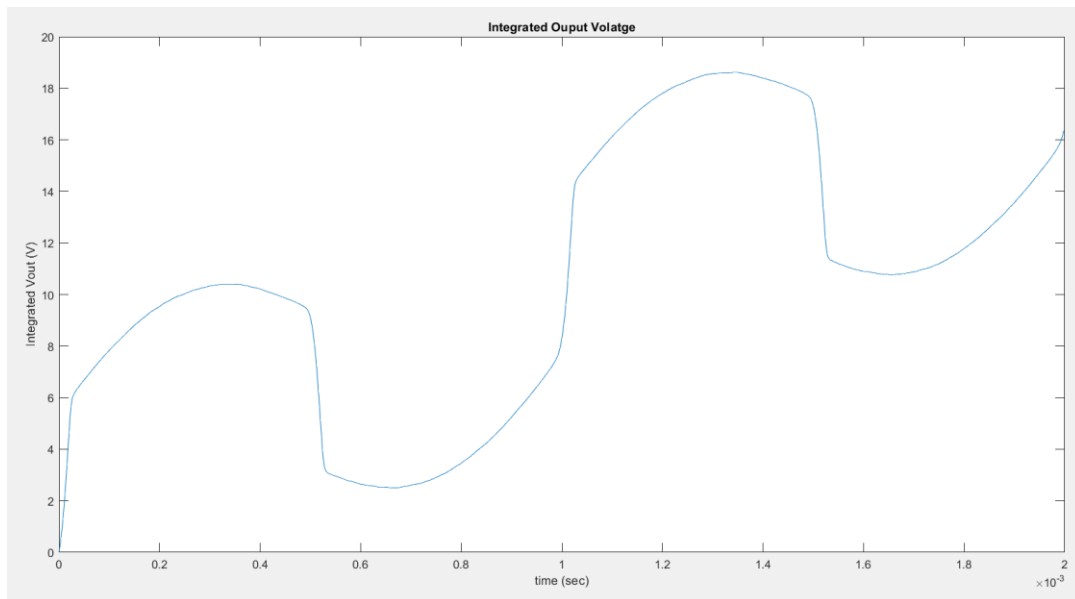
2.3.1 Επεξεργασία μετρήσεων

Με τη βοήθεια του συνημμένου αρχείου δεδομένων, που δίνεται, και με τη βοήθεια της Matlab δημιουργήθηκε σε ένα κοινό διάγραμμα τις καμπύλες $V_{in}(t)$ και $V_{out}(t)$ του αισθητήρα, όπως φαίνεται ακολούθως.



Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι για πολύ μικρή τάση εισόδου ο μαγνητικός πυρήνας φτάνει στον κορεσμό και δημιουργεί την τάση εξόδου. Όταν τα μαγνητικά δίπολα προσανατολίζονται πλήρως τότε επιπρόσθετη αύξηση του σήματος εισόδου δεν δημιουργεί διαφορά στην έξοδο μέχρι την αλλαγή της πολικότητας του σήματος. Στο σημείο αυτό τα μαγνητικά δίπολα προσανατολίζονται σύμφωνα με το νέο πεδίο και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Με τη βοήθεια της Matlab υπολογίστηκε το ολοκλήρωμα των τιμών της τάσης εξόδου και δημιουργήθηκε η γραφική παράσταση, όπως φαίνεται ακολούθως.



Με τη βοήθεια της Matlab σχεδιάστηκε ο βρόγχος υστέρησης, στον οποίο απεικονίζονται δύο επαναλήψεις, μιας και οι μετρήσεις, που δόθηκαν, ήταν δύο περιόδους, όπως φαίνεται ακολούθως.

