

# Μαγνητικά Υλικά

## Εργαστηριακή Άσκηση 1

### Βρόχος υστέρησης άμορφων μαγνητικών υλικών

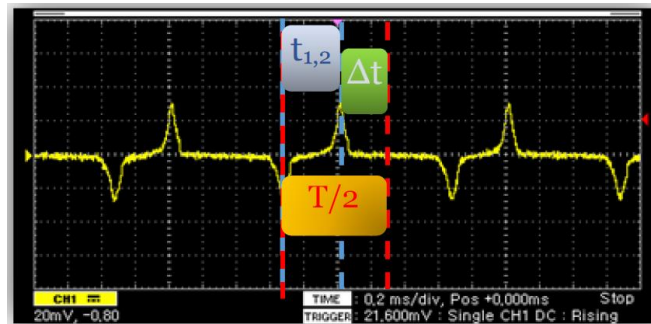
Ηλιόπουλος Γεώργιος  
03118815

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

## 1.1 Αισθητήρας πεδίου

### 1.1.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Αφού συνδέσαμε το πηνίο διέγερσης του αισθητήρα στη γεννήτρια συχνοτήτων και το πηνίο λήψης στον παλμογράφο τροφοδοτούμε το πηνίο διέγερσης με ημιτονοειδές σήμα τάσης  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητας  $f = 1kHz$ . Προσθέτουμε στο σήμα διέγερσης μια συνεχή συνιστώσα  $V_{DC}$  με τιμές από  $-3V$  έως  $3V$  με βήμα  $1V$ , μέσω της λειτουργίας “DC Offset” της γεννήτριας συχνοτήτων. Για κάθε τιμή, μετράμε τη χρονική διαφορά  $t_{1,2}$  μεταξύ ενός ελαχίστου και ενός διαδοχικού μεγίστου της εμφανιζόμενης κυματομορφής όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Οι μετρήσεις φαίνονται στον πίνακα 1. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήσαμε και για σήμα συχνότητας  $f = 5kHz$ . Οι μετρήσεις φαίνονται στον πίνακα 1.



Εικόνα 1: Απεικόνιση ζητούμενων μεγεθών στον παλμογράφο

### 1.1.2 Επεξεργασία μετρήσεων

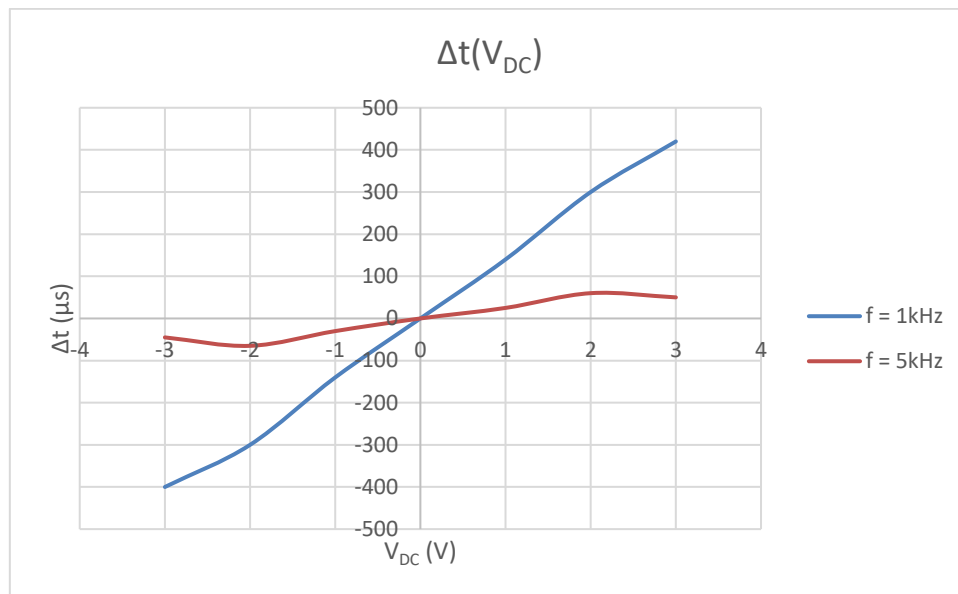
1. Για κάθε μέτρηση, υπολογίζουμε τη χρονική διαφορά  $\Delta t$  βάσει της σχέσης  $\Delta t = \frac{T}{2} - t_{1,2}$ , όπου  $T$  η περίοδος του αντίστοιχου σήματος διέγερσης (εικόνα 1). Στον πίνακα 1 φαίνονται οι μετρήσεις και υπολογισμοί για σήμα συχνότητας  $f = 1kHz$  και για σήμα συχνότητας  $f = 5kHz$ .

$V_{DC} (V)$	$t_{1,2} (\mu s)$		$\Delta t (\mu s)$	
	$f = 1kHz$	$f = 5kHz$	$f = 1kHz$	$f = 5kHz$
-3	900	145	-400	-45
-2	800	165	-300	-65
-1	640	130	-140	-30
0	500	100	0	0
1	360	75	140	25

<b>2</b>	200	40	300	60
<b>3</b>	80	50	420	50

Πίνακας 1: Μετρήσεις και υπολογισμοί με ημιτονοειδές σήμα εισόδου τάσης  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητας  $f = 1kHz$  και  $f = 5kHz$  για συνεχή συνιστώσα  $V_{DC}$  με τιμές από  $-3V$  έως  $3V$

**3.** Το ζητούμενο διάγραμμα φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2:  $\Delta t$  σε κοινό διάγραμμα για σήμα συχνότητας  $f = 1kHz$  (μπλε) και για σήμα συχνότητας  $f = 5kHz$  (κόκκινο)

**3.** Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι όσο αυξάνουμε την τάση, η χρονική διαφορά αυξάνεται, άρα ο μαγνητικός πυρήνας φτάνει πιο γρήγορα στον κορεσμό. Επίσης, παρατηρούμε ότι η σχέση είναι γραμμική και η κλίση της εξαρτάται από την συχνότητα, με τις μεγαλύτερες συχνότητες να έχουν μικρή κλίση.

**4.** Μερικές εφαρμογές του αισθητήρα πεδίου είναι η μέτρηση διαπλανητικών μαγνητικών πεδίων σε διαστημόπλοια, η ανίχνευση σιδηρομαγνητικών υλικών, εφαρμογές στην γεωφυσική και για μέτρηση ρεύματος.

## 1.2 Αισθητήρας θέσης

### 1.2.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Διατηρούμε τη συνδεσμολογία της προηγούμενης άσκησης χωρίς το DC offset και εφαρμόζουμε στο πηνίο διέγερσης ημιτονοειδές σήμα τάσης  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητας  $f = 1\text{ kHz}$ .

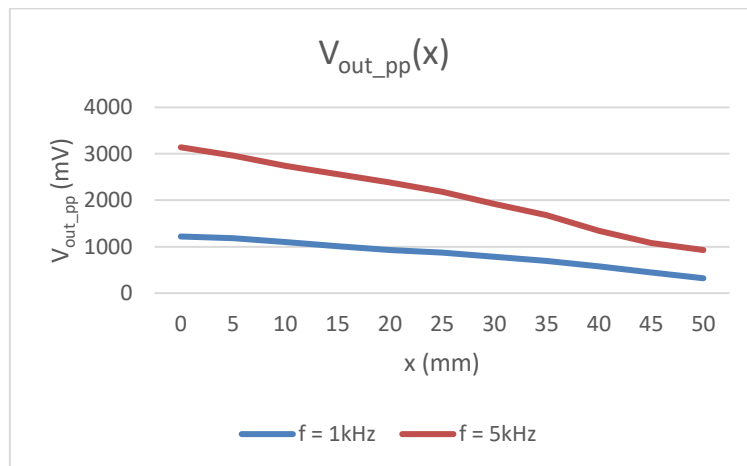
Αφαιρούμε σταδιακά τον μαγνητικό πυρήνα του αισθητήρα μέχρι την απόσταση  $x = 50\text{ mm}$  με βήμα  $5\text{ mm}$  και καταγράφουμε την τάση εξόδου  $V_{out\_pp}$  για κάθε θέση. Επαναλαμβάνουμε για  $f = 5\text{ kHz}$ . Οι μετρήσεις φαίνονται στον πίνακα 2.

$x\text{ (mm)}$	$V_{out\_pp}\text{ (mV)}$	
	$f = 1\text{ kHz}$	$f = 5\text{ kHz}$
0	1220	3140
5	1180	2960
10	1100	2740
15	1010	2560
20	928	2380
25	872	2180
30	784	1920
35	696	1680
40	576	1340
45	448	1080
50	320	928

Πίνακας 2: Μετρήσεις  $V_{out\_pp}$  για διαφορετικά  $x$  με ημιτονοειδές σήμα εισόδου τάσης  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητας  $f = 1\text{ kHz}$  και  $f = 5\text{ kHz}$

### 1.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων

1. Το ζητούμενο διάγραμμα φαίνεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3:  $V_{out\_pp}$  σε κοινό διάγραμμα για σήμα συχνότητας  $f = 1\text{ kHz}$  (μπλε) και για σήμα συχνότητας  $f = 5\text{ kHz}$  (κόκκινο)

**2.** Από την παραπάνω γραφική παρατηρούμε ότι όσο απομακρύνουμε τον μαγνητικό πυρήνα του αισθητήρα τόσο μειώνεται το πλάτος του σήματος λήψης. Μπορούμε, επίσης, να συμπεράνουμε ότι η πτώση του πλάτους για μεγαλύτερες συχνότητες είναι μεγαλύτερη για την ίδια απομάκρυνση του πυρήνα.

**3.** Μερικές εφαρμογές αυτού του αισθητήρα είναι για την πλοήγηση των διαστημόπλοιων, σε αισθητήρες εγγύτητας και για μέτρηση γωνιακής ταχύτητας.

## 1.3 Βρόχος Υστέρησης

Δίνοντας ρεύμα έντασης  $I_0$  στο πηνίο διέγερσης το πεδίο που δημιουργείται έχει ένταση:

$$H(t) = N_1 \cdot I_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1)$$

Η τάση εξόδου μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\begin{aligned} V(t) &= -L \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow \\ V(t) &= -N_2^2 \cdot \mu(H) \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow \\ V(t) &= -N_2^2 \cdot \mu(H) \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l} \cdot S \cdot \frac{dB}{dH} \cdot \frac{dH}{dt} \Rightarrow \\ V(t) &= -\frac{N_2^2 \cdot S^2}{l} \cdot \mu(H) \cdot \mu_0 \cdot \frac{dB}{dH} \cdot \frac{dH}{dt} \stackrel{(1)}{\Rightarrow} \\ V(t) &= -\omega \cdot \left( \frac{N_2 \cdot S}{\sqrt{l}} \right)^2 \cdot \mu(H) \cdot \mu_0 \cdot \mu(H) \cdot N_1 \cdot I_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \Rightarrow \\ V(t) &= -\omega \cdot \left( \frac{N_2 \cdot S}{\sqrt{l}} \cdot \mu(H) \right)^2 \cdot \mu_0 \cdot N_1 \cdot I_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (2) \end{aligned}$$

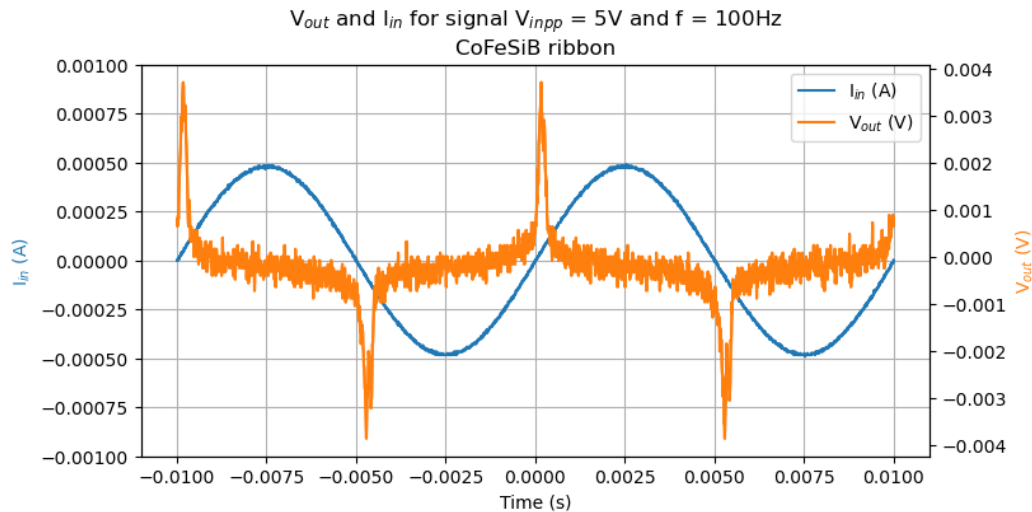
### 1.3.1 Διεξαγωγή μετρήσεων

Διατηρούμε τη συνδεσμολογία της προηγούμενης διάταξης, έχοντας τοποθετημένο τον μαγνητικό πυρήνα CoFeSiB σε μορφή ταινίας (ribbon). Τροφοδοτούμε με ημιτονοειδές σήμα τάσης  $V_{in\_pp} = 5V$  για συχνότητες 100Hz και 1kHz (βήμα 3). Στη συνέχεια σταθεροποιούμε τη συχνότητα στα 500Hz και μεταβάλλουμε την τάση διέγερσης από  $V_{in\_pp} = 5V$  έως 10V με βήμα 2V (βήμα 5). Επαναλαμβάνουμε για μαγνητικό πυρήνα FeSiB σε μορφή σύρματος.

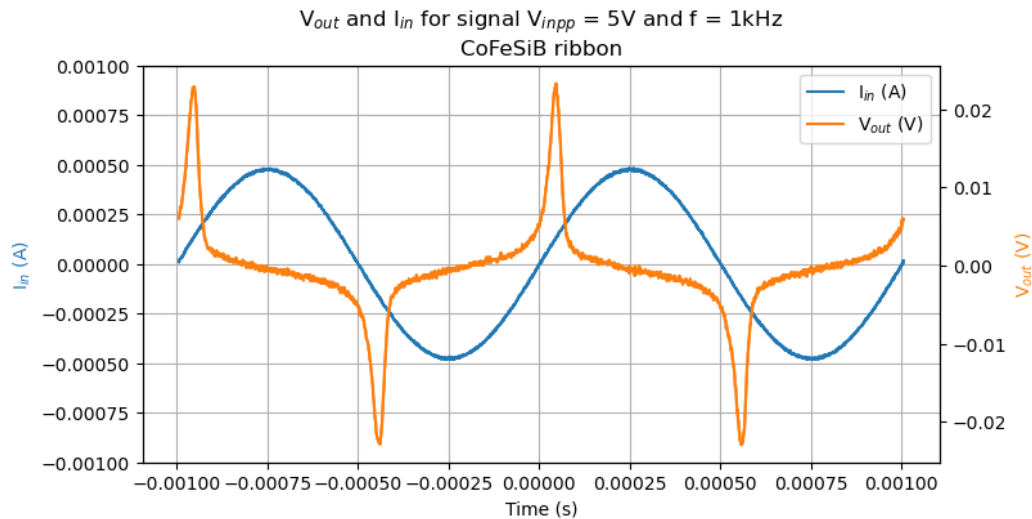
### 1.3.2 Επεξεργασία μετρήσεων

*Μαγνητικός πυρήνας CoFeSiB σε μορφή ταινίας*

Στις εικόνες 4 και 5 φαίνονται το ρεύμα εισόδου και η τάση εξόδου για σήματα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  για συχνότητες 100Hz και 1kHz αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Ρεύμα εισόδου και τάση εξόδου για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και  $f = 100Hz$



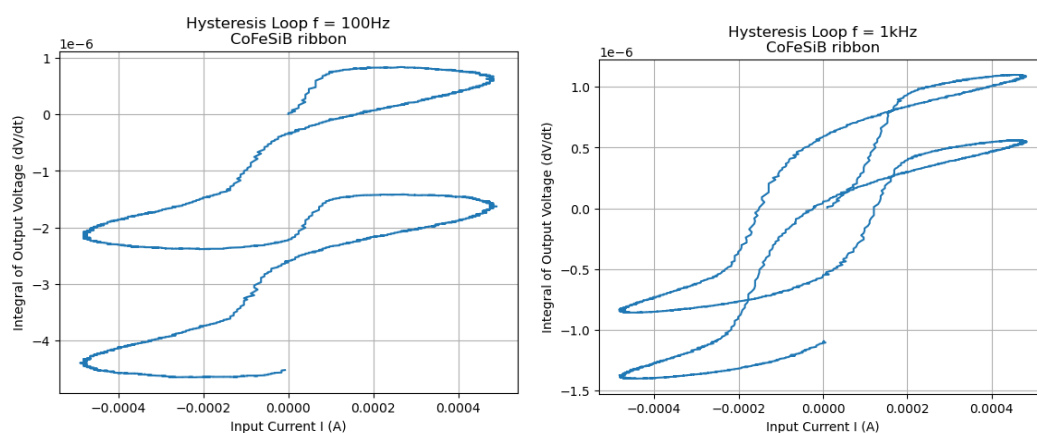
Εικόνα 5: Ρεύμα εισόδου και τάση εξόδου για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και  $f = 1kHz$

Παρατηρήσεις:

- Για είσοδο σε συχνότητα  $f = 100Hz$  βλέπουμε πως το σήμα εξόδου είναι αρκετά θορυβώδες.
- Όσο αυξάνουμε την συχνότητα η ένταση του σήματος εξόδου αυξάνεται. Αν ανατρέξουμε στην σχέση (2) μπορούμε να δούμε πως το πλάτος της τάσης εξόδου είναι ανάλογο της συχνότητας του ρεύματος διέγερσης. Έτσι διατηρώντας σταθερές όλες τις άλλες παραμέτρους και δεκαπλασιάζοντας τη συχνότητα περιμένουμε δεκαπλασιασμό του σήματος εξόδου. Αυτό πράγματι παρατηρείται και στις γραφικές των εικόνων 4 και 5.
- Ακόμα, το σήμα λήψης για δεκαπλάσια συχνότητα διέγερσης έχει και αυτό δεκαπλάσια συχνότητα. Αυτό είναι λογικό αφού όπως φαίνεται στη σχέση η συχνότητα της τάσης εξόδου είναι η ίδια με τη συχνότητα του σήματος διέγερσης.
- Οπότε, αυξάνοντας τη συχνότητα διέγερσης, τόσο το πλάτος όσο και η συχνότητα του σήματος λήψης αυξάνονται ανάλογα.

Το ολοκλήρωμα ως προς τον χρόνο συναρτήσει του χρόνου μπορεί να υπολογιστεί με τη συνάρτηση `cumulative_trapezoid` από τη βιβλιοθήκη `scipy.integrate`.

Στην εικόνα 6 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητες  $f = 100Hz$  και  $f = 1kHz$  για μαγνητικό πυρήνα CoFeSiB σε μορφή ταινίας.

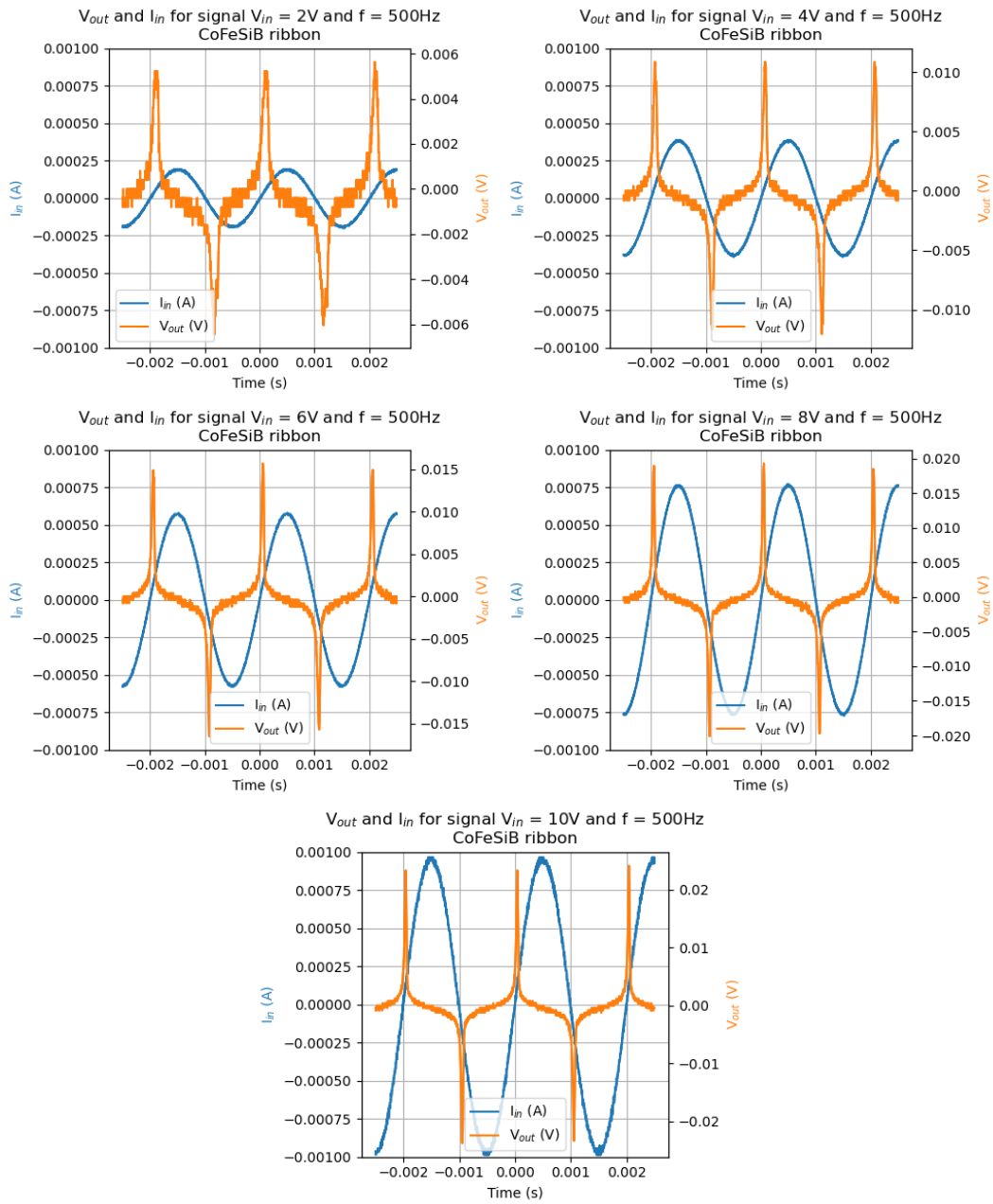


Εικόνα 6: Βρόχοι υστέρησης για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητες  $f = 100Hz$  (αριστερά) και  $f = 1kHz$  (δεξιά) για μαγνητικό πυρήνα CoFeSiB σε μορφή ταινίας

Η συχνότητα έχει τεράστιο αντίκτυπο στις απώλειες και στις γενικές μαγνητικές ιδιότητες των σιδηρομαγνητικών υλικών. Παρατηρούμε πως για μεγαλύτερη συχνότητα ο βρόχος φαρδαίνει. Το χωρίο που εσωκλείει μεγαλώνει και λοιπόν οι απώλειες είναι υψηλότερες. Σε υψηλές συχνότητες οι απώλειες οφείλονται κυρίως στα δινορεύματα.

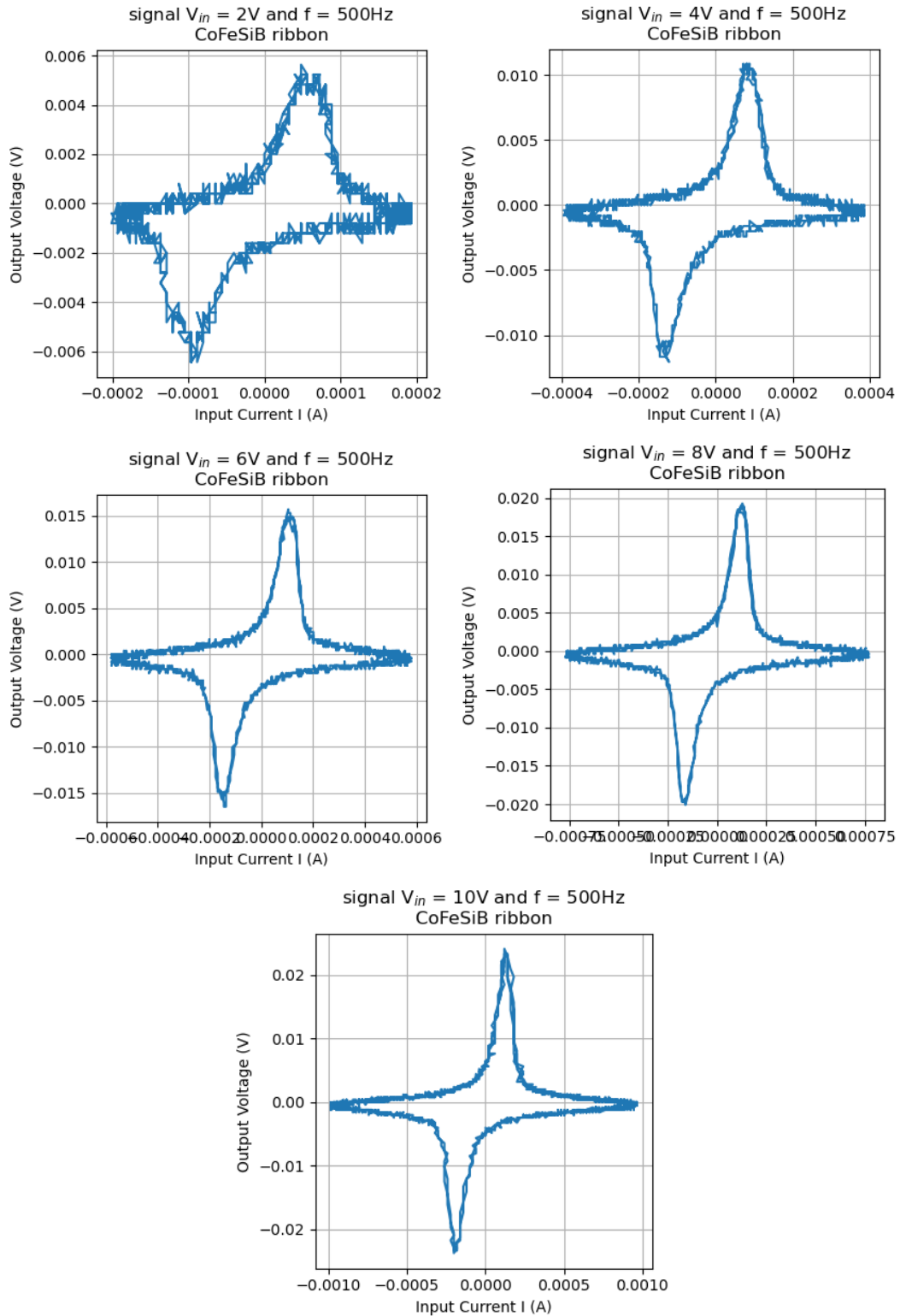
**2.** Στην εικόνα 7 φαίνονται τα σήματα εισόδου και εξόδους για συχνότητα  $f = 500Hz$  και πλάτος εισόδου  $2V, 4V, 6V, 8V$  και  $10V$ .

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνουμε την τάση εισόδου τόσο αυξάνεται η ένταση του σήματος εξόδου. Συγκεκριμένα για κάθε αύξηση  $2V$  στο σήμα εισόδου έχουμε αύξηση  $0.005V$  στο σήμα εξόδου.



Εικόνα 7: σήματα εισόδου και εξόδου για συχνότητα  $f = 500\text{Hz}$  και πλάτος εισόδου 2V, 4V, 6V, 8V και 10V



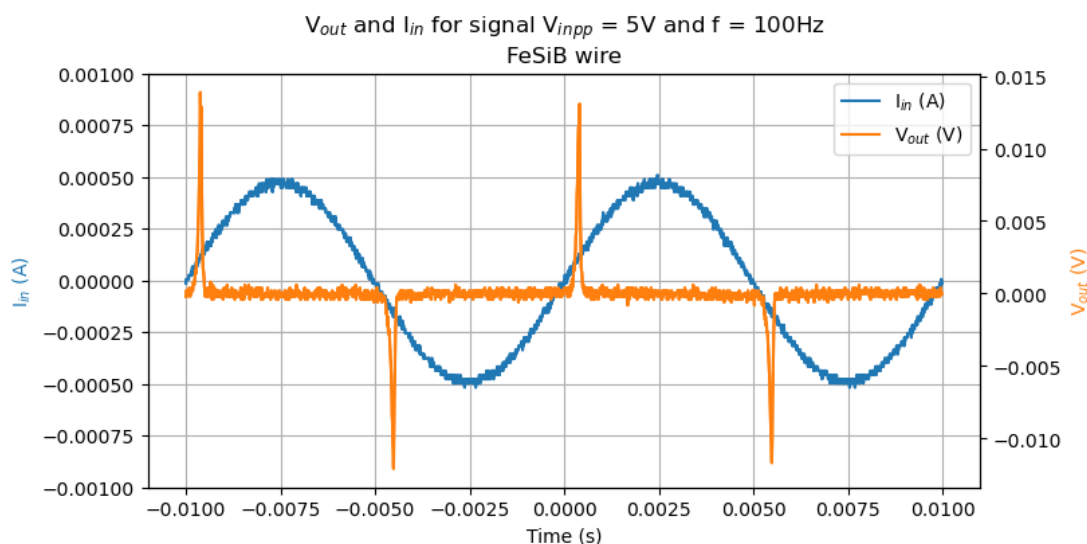


Εικόνα 8: Γράφηματα  $V_{out}(I_{in})$

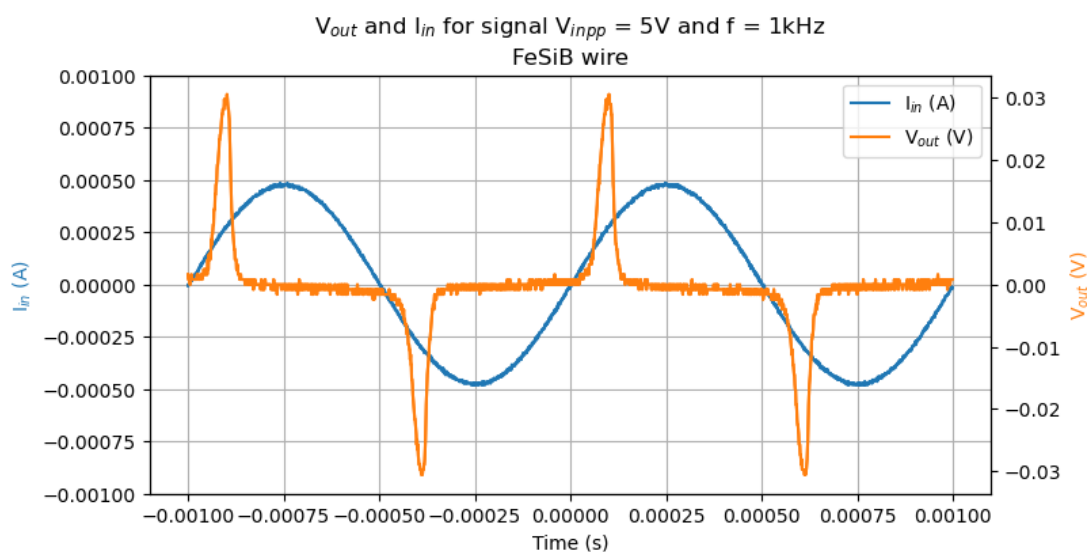
Τα γραφήματα  $V_{out}(I_{in})$  για όλες τις τιμές τάσης εισόδου έχουν την ίδια μορφή. Αυτό που αλλάζει είναι το εμβαδό τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση εισόδου τόσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδό.

### Μαγνητικός πυρήνας FeSiB σε μορφή σύρματος

**3.** Στις εικόνες 9 και 10 φαίνονται το ρεύμα εισόδου και η τάση εξόδου για σήματα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  για συχνότητες  $100Hz$  και  $1kHz$  αντίστοιχα.



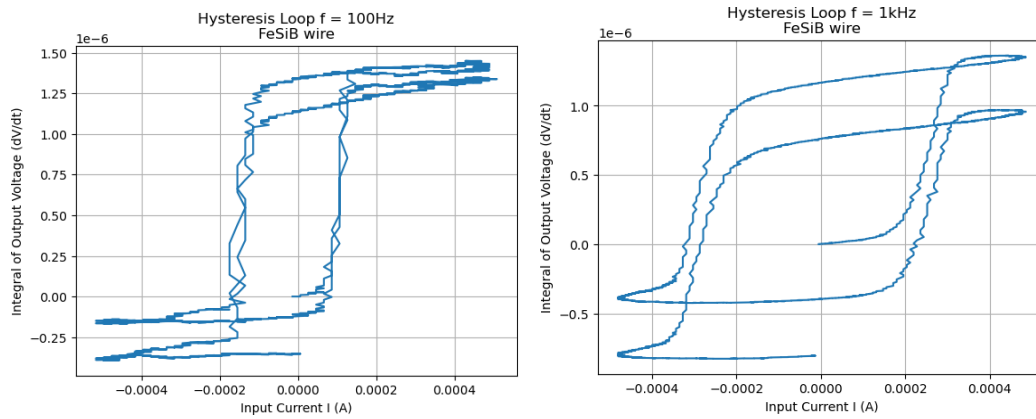
Εικόνα 9: Ρεύμα εισόδου και τάση εξόδου για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και  $f = 100Hz$



Εικόνα 10: Ρεύμα εισόδου και τάση εξόδου για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και  $f = 1kHz$

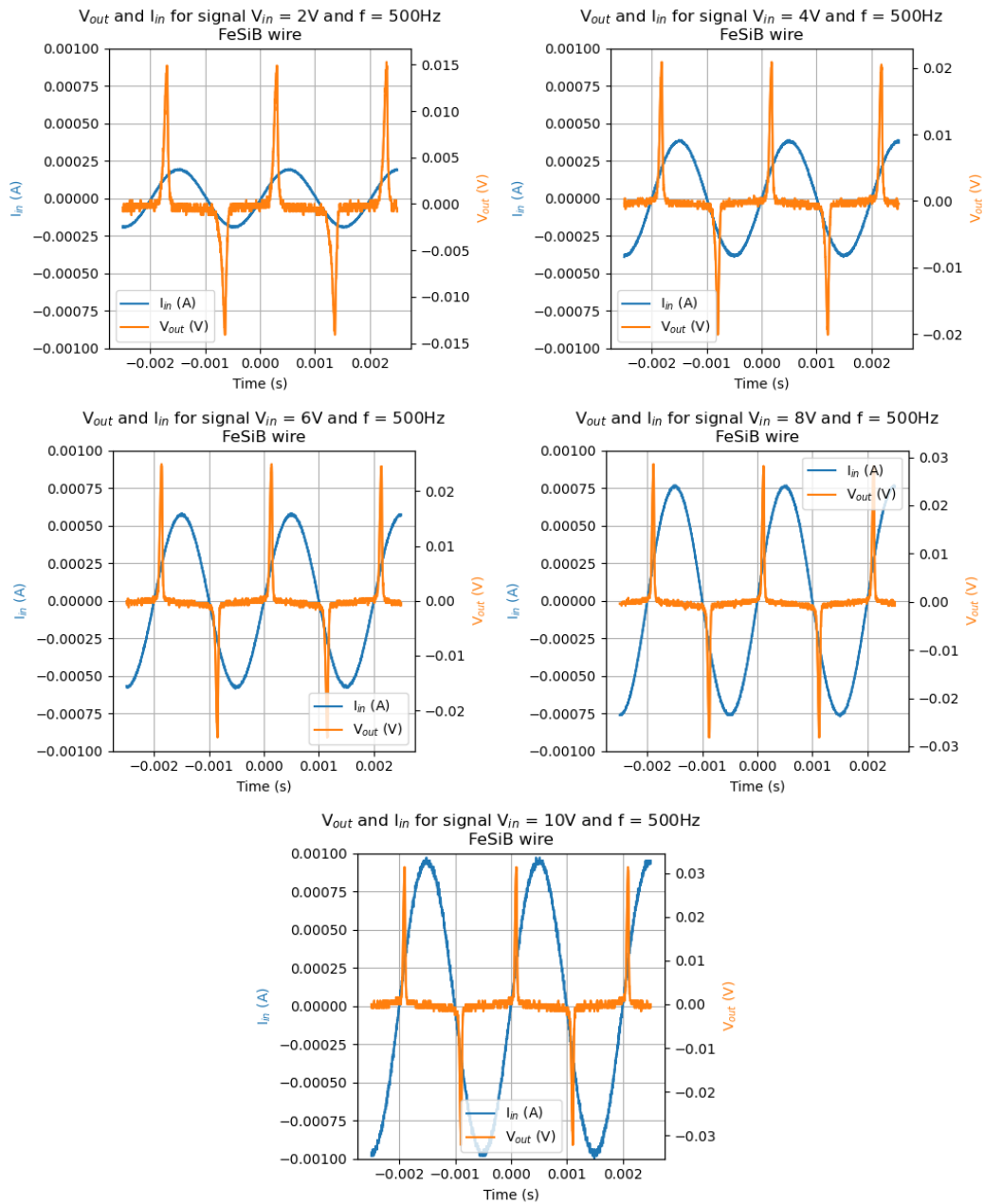
Οι παρατηρήσεις είναι ίδιες με αυτές του βήματος 1.

Στην εικόνα 11 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητες  $f = 100Hz$  και  $f = 1kHz$  για μαγνητικό πυρήνα FeSiB σε μορφή σύρματος.

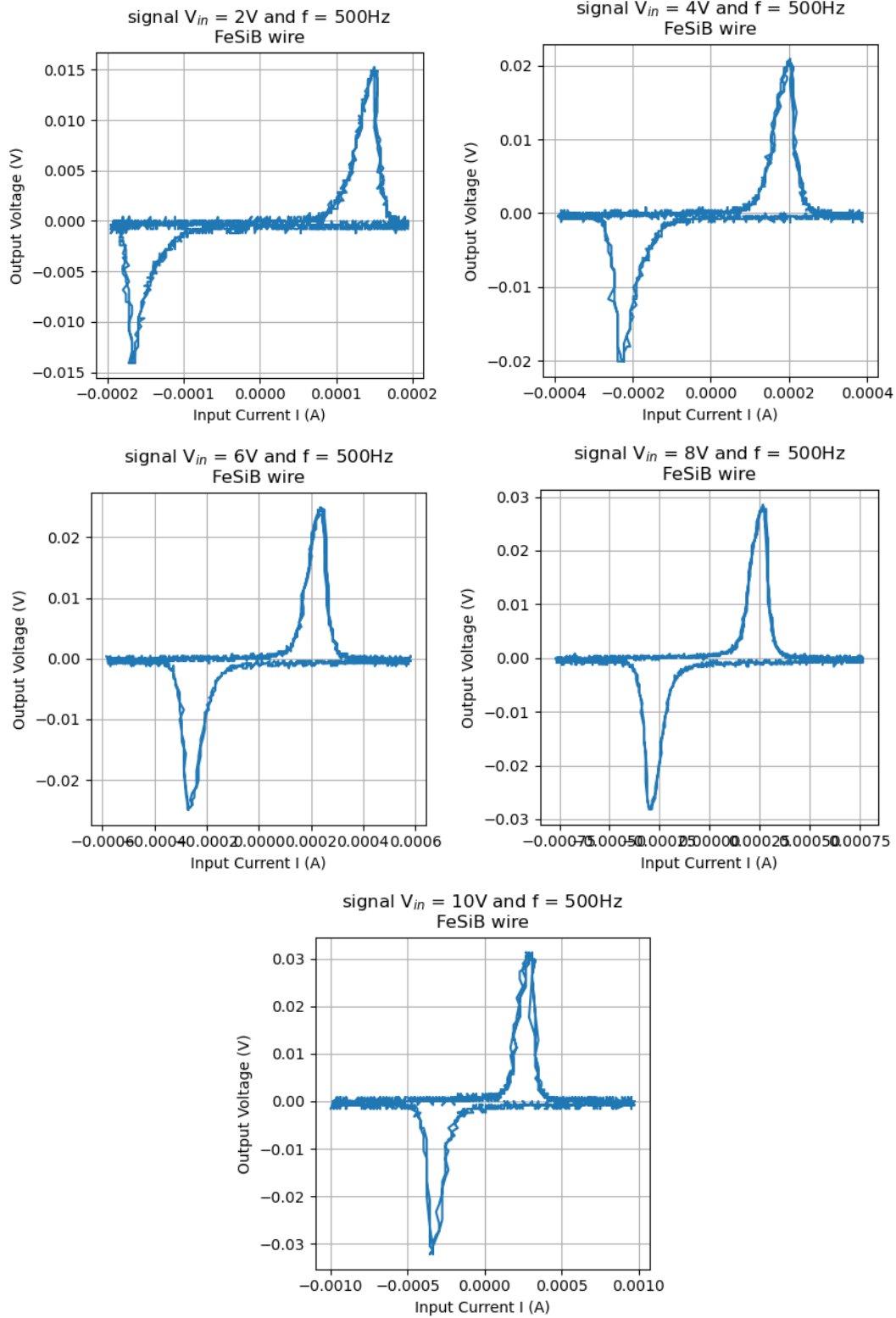


Εικόνα 11: Βρόχοι υστέρησης για σήμα εισόδου  $V_{in\_pp} = 5V$  και συχνότητες  $f = 100Hz$  (αριστερά) και  $f = 1kHz$  (δεξιά) για μαγνητικό πυρήνα FeSiB σε μορφή σύρματος

**4.** Στην εικόνα 12 φαίνονται τα σήματα εισόδου και εξόδους για συχνότητα  $f = 500Hz$  και πλάτος εισόδου  $2V, 4V, 6V, 8V$  και  $10V$ .



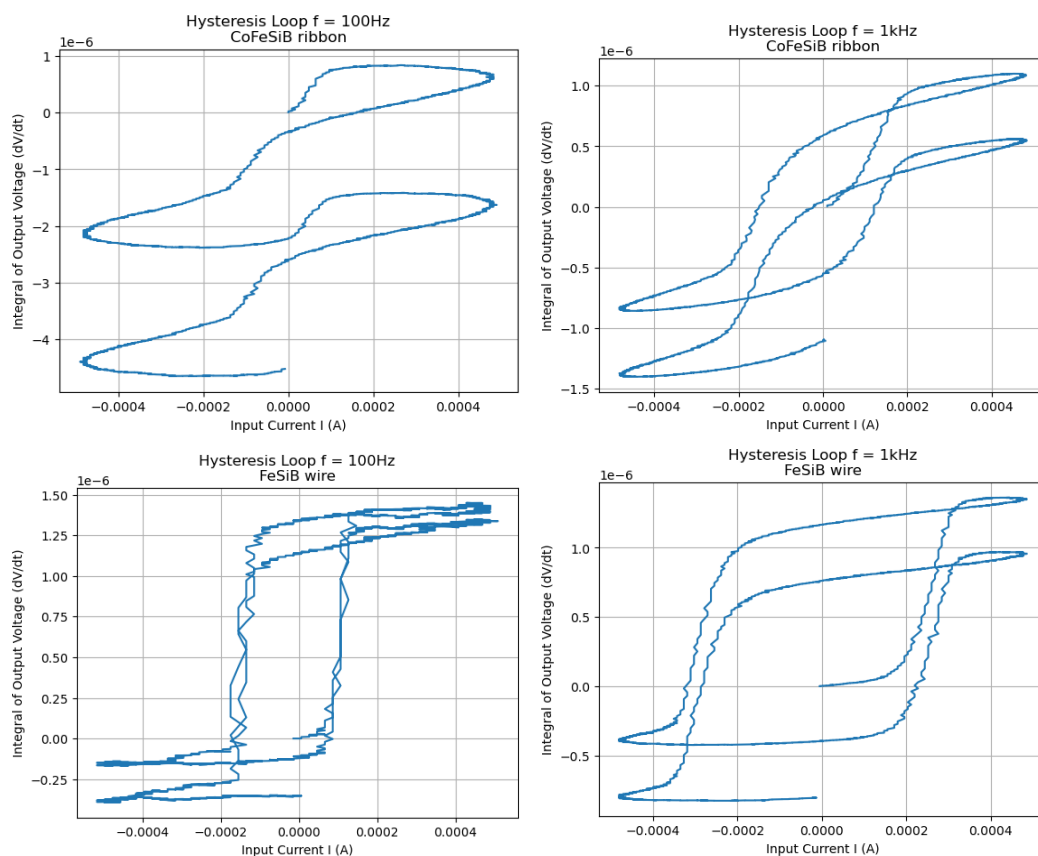
Εικόνα 12: σήματα εισόδου και εξόδου για συχνότητα  $f = 500\text{Hz}$  και πλάτος εισόδου 2V, 4V, 6V, 8V και 10V



Εικόνα 13: Γράφηματα  $V_{out}(I_{in})$

Τα γραφήματα  $V_{out}(I_{in})$  για όλες τις τιμές τάσης εισόδου έχουν την ίδια μορφή. Αυτό που αλλάζει είναι το εμβαδό τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση εισόδου τόσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδό.

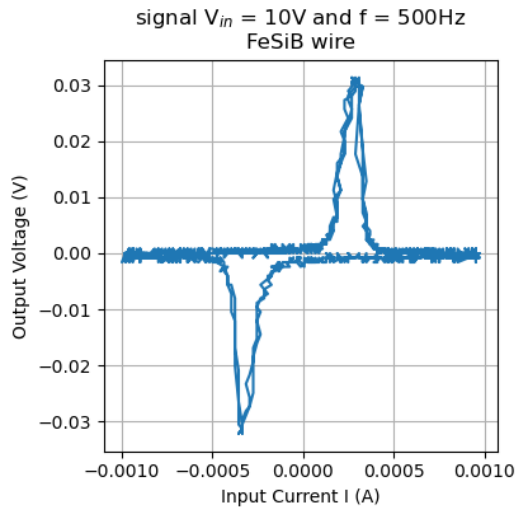
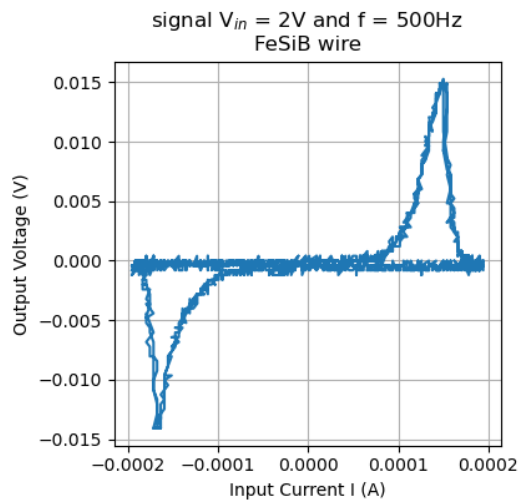
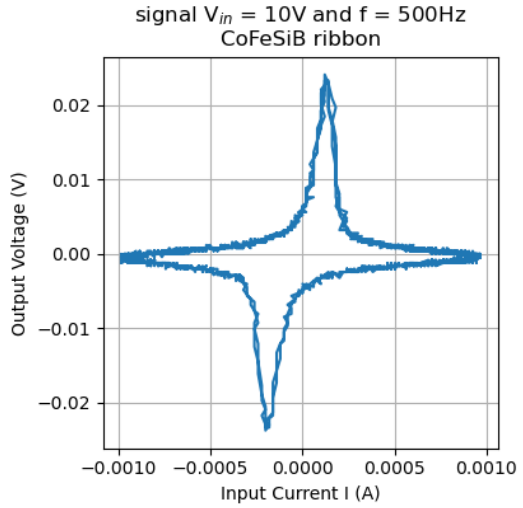
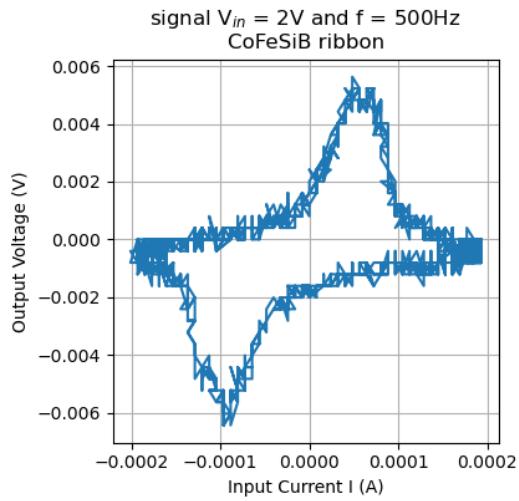
**5. Σύγκριση βρόχων υστέρησης για μαγνητικό πυρήνα CoFeSiB σε μορφή ταινίας και μαγνητικό πυρήνα FeSiB σε μορφή σύρματος.**



*Εικόνα 14: Βρόχοι υστέρησης για τους δύο διαφορετικούς πυρήνες: CoFeSiB σε μορφή ταινίας πάνω και FeSiB σε μορφή σύρματος (κάτω)*

Παρατηρώντας την εικόνα 14 μπορούμε να δούμε πως για τον μαγνητικό πυρήνα σε μορφή σύρματος οι βρόχοι είναι αρκετά πιο φαρδιοί γεγονός που σημαίνει πως έχουμε πιο πολλές απώλειες. Το συνεκτικό πεδίο για τον 2<sup>ο</sup> πυρήνα είναι πιο μεγάλο οπότε ο πυρήνας σε μορφή σύρματος είναι πιο σκληρό μαγνητικό υλικό από τον πυρήνα σε μορφή ταινίας.

**6.** Από την εικόνα 15 παρατηρούμε πως η καμπύλη  $V_{out}(I_{in})$  για τον 2<sup>ο</sup> (σύρμα) μαγνητικό πυρήνα είναι πιο απλωμένη ενώ για τον 1<sup>ο</sup> (ταινία) μοιάζει πιο πολύ με άστρο. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς πως το σύρμα είναι πιο σκληρό από την ταινία.



Εικόνα 15: Καμπύλες  $V_{out}(I_{in})$  για τους δύο διαφορετικούς πυρήνες: CoFeSiB σε μορφή ταινίας πάνω και FeSiB σε μορφή σύρματος (κάτω)