



## **Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**

**Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών**

**Ροή Η - Τεχνολογία Αισθητήρων και Μικροσυστημάτων**

**Ονοματεπώνυμο:**

Αντώνης Αδαμίδης (03121816),  
Ηρακλής Στιβακτάκης (03121849),  
Χρήστος Χρηστάκης (03121173)

**Εργαστηριακή Ομάδα: 2**

**Ακαδ. Έτος / Εξάμηνο: 2024-2025 / 8ο**

**1η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - Αισθητήρας Hall**

## 1.Θεωρητικό Μέρος:

Οι αισθητήρες Hall είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι μαγνητικοί αισθητήρες και λειτουργούν με βάση το φαινόμενο Hall. Σύμφωνα με το προηγούμενο, όταν ένας αγωγός ή ημιαγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και ταυτόχρονα εφαρμόζεται πάνω του μαγνητικό πεδίο κάθετο στη ροή του ρεύματος, τότε δημιουργείται μία τάση κατά μήκος του υλικού. Αυτή η τάση είναι κάθετη τόσο στη διεύθυνση του ρεύματος όσο και στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου και ονομάζεται τάση Hall ( $V_H$ ), η οποία υπολογίζεται με συγκεκριμένο τύπο:

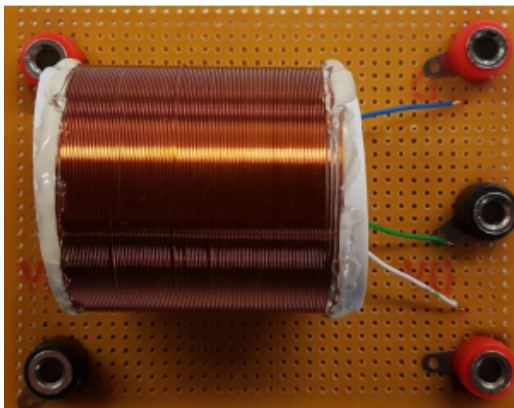
$$V_H = \frac{R_H \cdot I_x \cdot B_z}{t}$$

όπου:

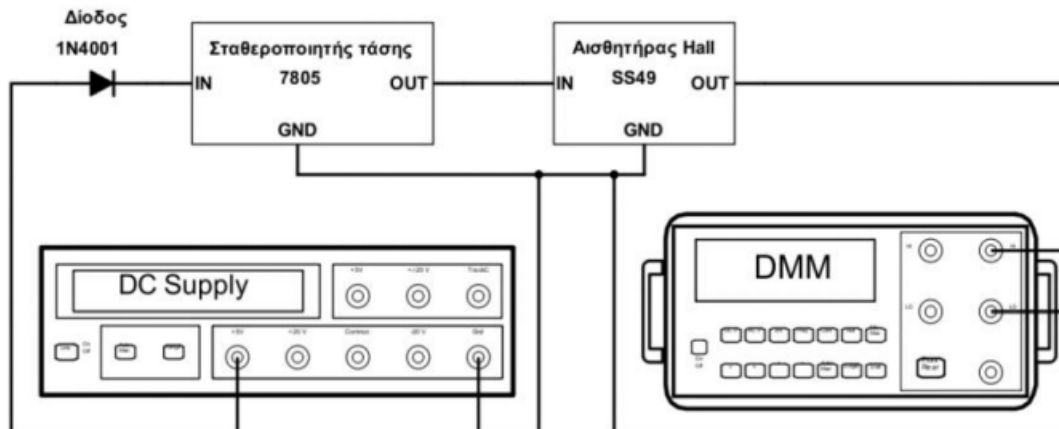
- $R_H$  ο λεγόμενος συντελεστής Hall
- $I_x$  η ένταση του ρεύματος κατά τη διεύθυνση του άξονα x
- $B_z$  το μαγνητικό πεδίο κατά τη διεύθυνση του άξονα z
- $t$  το πάχος του ημιαγωγού

Στην εργαστηριακή άσκηση:

- Καταλάβαμε την λειτουργία του αισθητήρα Hall, καθώς και του ομώνυμου φαινομένου.
- Συλλέξαμε δεδομένα μέσω των μετρήσεων τα όποια θα επεξεργαστούμε αργότερα στο δεύτερο σκέλος του πειραματικού μέρους.



Στην συνέχεια, όσον αφορά την πειραματική διάταξη που είχαμε στην άσκηση, χρησιμοποιήθηκε ένα σωληνοειδές κατασκευασμένο από χαλκό. Στο εσωτερικό του είχε τοποθετηθεί ένας αισθητήρας Hall, στερεωμένος σε μια επίπεδη επιφάνεια με σιλικόνη. Για να προστατευτεί ο αισθητήρας από πιθανή παροχή τάσης εκτός των επιτρεπτών ορίων, στη διάταξη είχαν προστεθεί επιπλέον δύο εξαρτήματα: μια δίοδος και ένας σταθεροποιητής τάσης. Αναλυτικότερα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



## 2. Πειραματικό Μέρος:

### 2.1 Διεξαγωγή μετρήσεων:

- Μετρήσαμε την αντίσταση του πηνίου και την βρήκαμε  $2.3\Omega$
- Συνδέσαμε τον αισθητήρα Hall με το τροφοδοτικό δίνοντας 7V και επιβεβαιώσαμε ότι η τάση εξόδου του αισθητήρα ήταν 2.5V .



- Συνδέσαμε τα άκρα του σωληνοειδούς στο τροφοδοτικό και αρχίζοντας από 2,6A μεταβάλαμε την ένταση του ρεύματος με βήμα 0.2 A μέχρι το 0:

Ένταση Ρεύματος(A)	Vout Hall(V)
2.6	2.65
2.4	2.64
2.2	2.64
2.0	2.63
1.8	2.62
1.6	2.62
1.4	2.61
1.2	2.60
1.0	2.60

0.8	2.59
0.6	2.58
0.4	2.58
0.2	2.57
0.0	2.56

- Στη συνέχεια **αντστρέψαμε** την πολικότητα της τροφοδοσίας του σωληνοειδούς και μετρήσαμε την τάση του αισθητήρα Hall, αυτή τη φορά μεταβάλλοντας την ένταση από 0.2 A σε 2.6 A με βήμα 0.2 A. Πήραμε αποτελέσματα του πίνακα:

Ένταση Ρεύματος(A)	Vout Hall(V)
0.2	2.56
0.4	2.56
0.6	2.57
0.8	2.57
1.0	2.58
1.2	2.58
1.4	2.59
1.6	2.59
1.8	2.60
2.0	2.61
2.2	2.61
2.4	2.62
2.6	2.62

## **2.2 Επεξεργασία μετρήσεων:**

1) Για το σωληνοειδές που χρησιμοποιήσαμε, δίνονται τα εξής χαρακτηριστικά:

Διάμετρος πυρήνα χαλκού:  $d = 0.4 \text{ mm}$

Ακτίνα σωληνοειδούς:  $r = 22 \text{ mm}$

Μήκος σωληνοειδούς:  $L = 38 \text{ mm}$

Βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών, καθώς και της τιμής της αντίστασης που μετρήσαμε  $R = 2.3 \, \Omega$ , υπολογίσαμε το μήκος  $l$  του σύρματος του σωληνοειδούς.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 16 \cdot 10^{-8}}{4} = 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-8} = 12.56 \cdot 10^{-8} = 1.256 \cdot 10^{-7} m^2$$

Άρα για το  $l$  έχουμε:

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{2.3 \cdot 1.256 \cdot 10^{-7}}{1.68 \cdot 10^{-8}} \simeq 17.2 m$$

2) Υπολογίσαμε τον αριθμό  $N$  των σπειρών του σωληνοειδούς, βάσει του τύπου

$$l = N \cdot 2 \cdot \pi r \Rightarrow N = \frac{l}{2\pi r} = \frac{17.2}{2\pi \cdot 0.022} \simeq 125 \text{ σπείρες}$$

3) Για κάθε τιμή έντασης ρεύματος, υπολογίσαμε:

3.1) Την ένταση  $H$  του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο του σωληνοειδούς, βάσει δοσμένου τύπου, όπως φαίνεται στο ακόλουθο πίνακάκι.

Ένταση Ρεύματος (A)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου $H$ (A/m)
0.2	430
0.4	860
0.6	1290
0.8	1720
1.0	2150
1.2	2580
1.4	3010
1.6	3440
1.8	3870
2.0	4300
2.2	4730

2.4	5160
2.6	5590

**3.2)** Τη μαγνητική επαγωγή  $B$ , βάσει του τύπου  $B = \mu \cdot H$ , όπου  $\mu$  είναι η μαγνητική διαπερατότητα του αέρα (βρείτε βιβλιογραφικά την τιμή της).

Ένταση Ρεύματος (A)	Μαγνητική Επαγωγή B (T)
0.2	0.000540
0.4	0.001081
0.6	0.001621
0.8	0.002161
1.0	0.002702
1.2	0.003242
1.4	0.003783
1.6	0.004323
1.8	0.004863
2.0	0.005404
2.2	0.005944
2.4	0.006484
2.6	0.007025

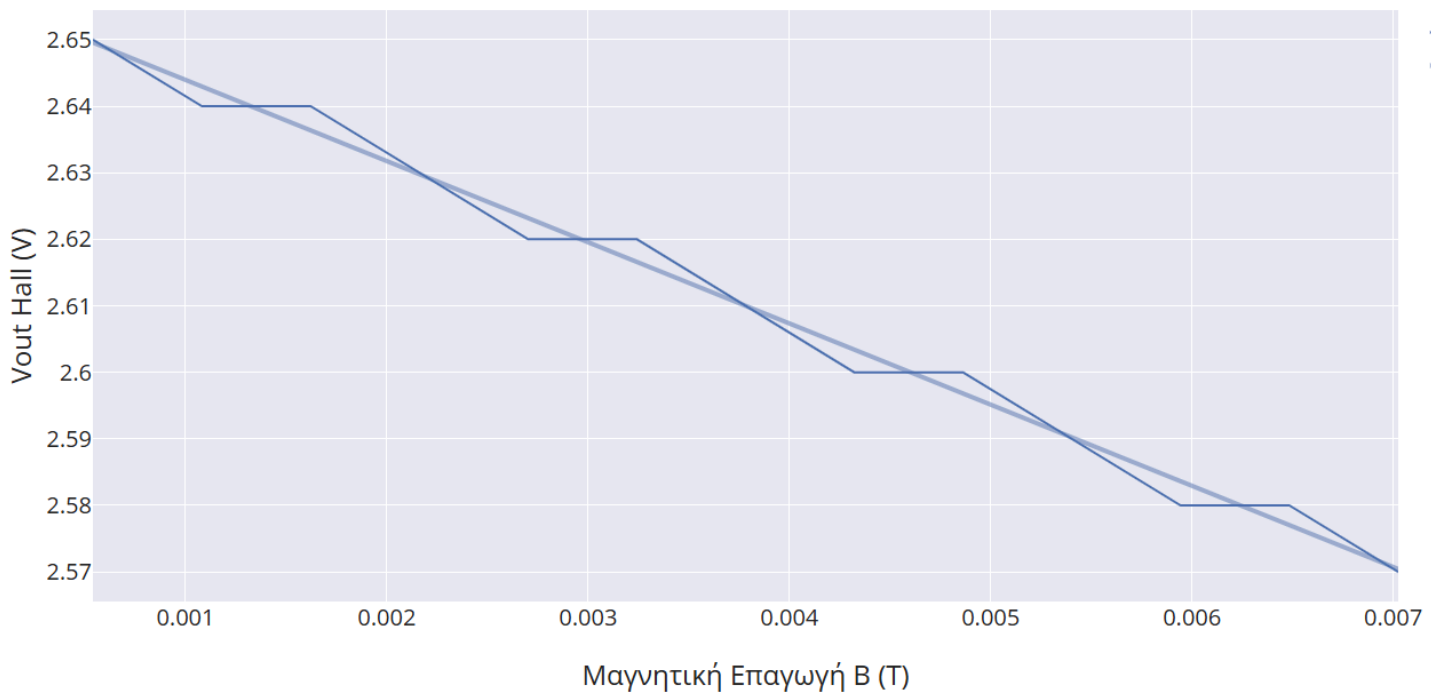
4

-

**5)** Βάσει των παραπάνω τιμών, δημιουργήσαμε το διάγραμμα  $V_{out}(B)$ , δηλαδή την καμπύλη βαθμονόμησης του αισθητήρα Hall.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα για την ορθή πόλωση.

Vout (B)



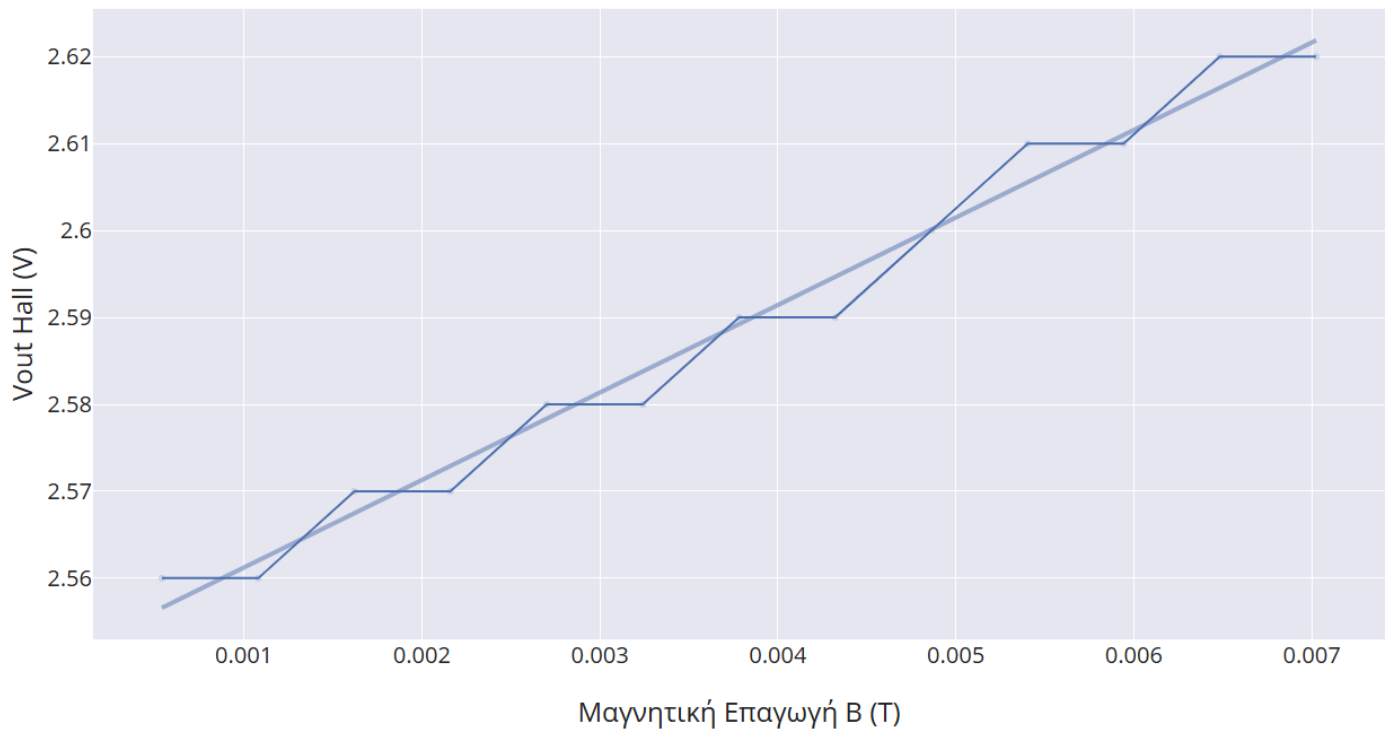
Παρατηρούμε ότι καθώς μειώνεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σωληνοειδές, μειώνεται και το μέτρο του B. Επειδή  $V_H \propto B$ , η τάση Hall μειώνεται.

Υπολογίσαμε την κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης μέσω του εργαλείου που κάναμε το διάγραμμα και βρήκαμε ότι είναι:

$$\kappa = -12.201 \text{ V/T}$$

Εν συνεχεία παρατίθεται το διάγραμμα της ανάστροφης πόλωσης:

Vout (B)



Σε αυτήν τη περίπτωση, η ένταση του ρεύματος αυξάνεται, άρα αυξάνεται και το μέτρο του αρνητικού B. Ωστόσο, εμάς μας ενδιαφέρει κατ' απόλυτη τιμή και γι' αυτό παρατηρούμε αύξηση της  $V_{out}$ . Υπολογίσαμε την κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης μέσω της εφαρμογής που κάναμε το διάγραμμα και βρήκαμε ότι είναι:  
 $\kappa = 10.066 \text{ V/T}$  και αφού  $1T = 10.000\text{Gauss}$  είναι:  $\kappa = 0.0010066 \text{ V/Gauss}$

**6) Τυπική τιμή κλίσης (ευαισθησία):** Στο datasheet του αισθητήρα Hall SS49E, η τυπική τιμή της κλίσης της καμπύλης βαθμονόμησης είναι  $\alpha=0.0014 \text{ V/Gauss}$ , ή αλλιώς  $1.4 \text{ mV/Gauss}$ . Από τη σύγκριση της τυπικής τιμής της κλίσης με την αντίστοιχη πειραματική κλίση που βρήκαμε συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι αυτές έχουν μικρή απόκλιση.

**7) Η ελάχιστη απόκλιση μεταξύ των δύο τιμών της κλίσης της καμπύλης βαθμονόμησης μπορεί να εξηγηθεί από αρκετούς παράγοντες, οι οποίοι συνδέονται με τις διαδικασίες μέτρησης και υπολογισμού:**

- **Σφάλματα των Οργάνων Μέτρησης:** Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπως το πολύμετρο, ενδέχεται να παρουσιάζουν σφάλματα μέτρησης. Αυτά τα σφάλματα δεν είναι πάντα αποφευκτά και μπορεί να προκύψουν από διάφορες αιτίες, όπως περιορισμούς στην ακρίβεια των οργάνων ή την ανάγκη αλλαγής κλίμακας μέτρησης. Η αναγκαστική αλλαγή στην κλίμακα του πολυμέτρου, για παράδειγμα, επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μικρές αποκλίσεις στα αποτελέσματα και να επηρεάσει τη συνολική κλίση της καμπύλης βαθμονόμησης.

- **Πειραματική Καμπύλη Βαθμονόμησης και Ακρίβεια Υπολογισμών:** Η πειραματική καμπύλη βαθμονόμησης που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση προέκυψε ως μέσος όρος των επιμέρους ευθειών που συνδέουν κάθε σημείο με το επόμενο, γεγονός που φυσιολογικά ενδέχεται να μειώσει την ακρίβεια των υπολογισμών. Ειδικότερα, η μέση τιμή μεταξύ των σημείων μπορεί να οδηγήσει σε μικρές απώλειες από την ακριβή τιμή της κλίσης, καθώς κάθε διακεκομμένη ευθεία μπορεί να έχει μικρές παραλλαγές σε σχέση με την ιδανική καμπύλη.

- Επιπλέον, οι συνθήκες εκτέλεσης του πειράματος, όπως η θερμοκρασία, ενδέχεται να διέφεραν ελαφρώς από τις βέλτιστες συνθήκες που καθορίζονται στο datasheet του αισθητήρα. Αυτές οι διαφορές, αν και μικρές, θα μπορούσαν να προκαλέσουν έναν ευμετάβλητο αλλαγή στην ευαισθησία (sensitivity drift) του αισθητήρα.