

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και υλοποίηση οργάνου μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής στην περιοχή 50mT έως 1T



Των φοιτητών:

Τραχανά Εμμανουήλ

Αριθμός Μητρώου: 512124

Αντωνιάδη Παναγιώτη

Αριθμός Μητρώου: 512008

Επιβλέπων:

Ιορδάνης Κιοσκερίδης

Καθηγητής

Τίτλος Δ.Ε. Σχεδίαση και υλοποίηση οργάνου μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής

στην περιοχή 50mT έως 1T

Κωδικός Δ.Ε. 19149M

Όνοματεπώνυμο φοιτητών Τραχανάς Εμμανουήλ Αντωνιάδης Παναγιώτης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 26/11/19

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 17/06/20

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Δι.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Τραχανά Εμμανουήλ και Αντωνιάδη Παναγιώτη που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Χαρακτηριστικό της εποχής μας είναι η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη. Καθημερινά βρισκόμαστε ανάμεσα σε εκατομμύρια τεχνολογικές εφαρμογές οι οποίες μας παρέχουν δυνατότητες, μας εξοικονομούν χρόνο αλλά και κόπο, σώζουν τις ζωές των συνανθρώπων μας αλλά και τις δικές μας. Οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές βασίζονται σε αισθητήρια όργανα τα οποία δομήθηκαν με βάση τα φυσικά φαινόμενα. Η δική μας πτυχιακή θα κινηθεί γύρω από το φαινόμενο του μαγνητισμού, το πόσο ο μαγνητισμός έχει επηρεάσει τον άνθρωπο καθώς και τον ρόλο του στις τεχνολογικές εφαρμογές από την εποχή του Θαλή μέχρι σήμερα. Τέλος επικεντρωνόμαστε στην κατασκευή ενός οργάνου μέτρησης του μαγνητικού πεδίου.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση και κατανόηση βασικών εννοιών αλλά και ιδιοτήτων γύρω από τον μαγνητισμό (μαγνήτης, μαγνητικό πεδίο, κτλ) , το φαινόμενο Hall και το πλήθος εφαρμογών που δομούνται με βάση αυτά τα φαινόμενα. Με την απόκτηση και κατανόηση των παραπάνω γνώσεων θα αναλύσουμε την λειτουργία και τα χαρακτηριστικά ενός οργάνου μέτρησης μαγνητικής επαγωγής με αισθητήρα Hall. Ακολουθεί έπειτα η μελέτη και κατασκευή ενός τέτοιου φορητού οργάνου. Τέλος λαμβάνουμε κάποιες μετρήσεις και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα θεωρητικά. Με βάση τις συγκρίσεις παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα μας γύρω από την κατασκευή καθώς και τις ιδέες μας για μετέπειτα εφαρμογές.

Στο πρώτο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζονται οι έννοιες γύρω από τον μαγνητισμό έπειτα από μια ιστορική αναδρομή, δίνουμε τους ορισμούς του μαγνήτη, του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, του μαγνητικού πεδίου, τις θεμελιώδεις εξισώσεις, καθώς αναφερόμαστε και στα μαγνητικά υλικά και τις ιδιότητές τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των μαγνητικών αισθητήρων. Αναλύουμε τα είδη, τις κατηγορίες, τα χαρακτηριστικά τους και τέλος παρουσιάζουμε ορισμένες σύγχρονες εφαρμογές μαγνητικών αισθητήρων. Εξαιρούνται αναλυτικά οι αισθητήρες Hall και τα όργανα μέτρησης μαγνητικού πεδίου για τα οποία θα αφιερώσουμε δύο κεφάλαια παρακάτω.

Στο τρίτο κεφάλαιο σας παρουσιάζεται η θεωρία του φαινομένου Hall όπως και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στο ίδιο το φαινόμενο. Η κατανόηση του φαινομένου και του τρόπου λειτουργίας των αισθητήρων Hall είναι απαραίτητα για την μετέπειτα κατανόηση την λειτουργίας ενός οργάνου μέτρησης μαγνητικής επαγωγής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε την δομή και λειτουργία ενός οργάνου μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής με αισθητήρα Hall καθώς και τις απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της κατασκευής, λειτουργίας και της λήψης των μετρήσεων ενός τέτοιου οργάνου από εμάς.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις θεωρητικές τιμές ενδεικτικής λειτουργίας του αισθητήρα ενώ προτείνουμε και κάποιες βελτιώσεις για μετέπειτα εφαρμογές.

Λέξεις Κλειδιά:

Μαγνητισμός, μαγνητικό πεδίο, φαινόμενο Hall, αισθητήρας Hall effect, όργανο μέτρησης μαγνητικής επαγωγής, τέσλα, μικροελεγκτής.

ABSTRACT

The subject of this dissertation is the presentation and understanding of basic concepts and properties around magnetism (magnet, magnetic field, etc.), the Hall effect and the number of applications that are based on these meanings. With the acquisition and understanding of the above knowledge we will analyze the operation and characteristics of a magnetic induction measuring device with Hall sensor. This is followed by the study and construction of such a portable device. Finally, we take some measurements and compare the results with the corresponding theoretical ones. Based on the comparisons, we present our conclusions about the construction as well as our ideas for subsequent applications.

The first chapter of the dissertation presents the meanings around magnetism after a historical review, we give the definitions of magnet, electromagnetic field, magnetic field, fundamental equations, as we also refer to magnetic materials and their properties.

In the second chapter, an attempt is made to record the magnetic sensors. We analyze the types, the categories, their characteristics and finally we present some modern applications of magnetic sensors, except Hall sensors and the magnetic field measuring device are which we will dedicate two chapters below.

The third chapter presents the theory of the Hall effect as well as the characteristics of a sensor, the function of which is based on the phenomenon itself. Understanding the phenomenon and mode of operation of Hall sensors is essential for the subsequent understanding of the operation of a magnetic induction measuring device.

In the fourth chapter we analyze the structure and operation of a magnetic induction measuring device with a Hall sensor as well as the requirements of such a system.

In the fifth chapter we describe the construction, operation and measurement of such a device which was built by us.

Finally, in the sixth chapter we compare the results of measurements with the theoretical values of the indicative operation of the sensor while we suggest some improvements for later applications.

Keywords:

Magnetism, magnetic field, Hall effect, Hall effect sensor, magnetic induction measuring device, tesla, microcontroller.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟ	14
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	14
1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ	16
1.2.1 ΜΑΓΝΗΤΗΣ	16
1.2.2 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	17
1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΠΔΙΟ	18
1.2.4 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	18
1.2.5 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ	18
1.2.6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΠΗ	19
1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	19
1.4 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	23
2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΝ ΦΥΣΗ	23
2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ-ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	23
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	23
2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL	32
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL	32
3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL	33
3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	33
3.2.3 ΔΥΝΑΜΗ LORENTZ	36
3.2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
3.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ HALL	38
3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
3.3.2 Ο ΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΑΥΤΟ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΥΤΟ	39
3.3.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ HALL	40
3.3.4 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ HALL ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	40
3.3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ HALL	41

3.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL.....	41
3.4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΕΞΟΔΟ.....	42
3.4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΞΟΔΟ	46
3.5 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL.....	50
3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ HALL	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΓΗΤΙΚΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ HALL.....	56
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	56
4.2 ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	56
4.3 ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ HALL	57
4.4 ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	58
4.5 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΟΡΗΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΓΗΤΙΚΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ	59
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	59
5.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	59
5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ.....	63
5.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	76
DATASHEET	78

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Πρώτη μαγνητική κατασκευή.....	14
Σχήμα 1.2 Πυξίδα πλοήγησης.....	14
Σχήμα 1.3 Shen kua.....	15
Σχήμα 1.4 William Gilbert.....	15
Σχήμα 1.5 Daniel Bernoulli.....	15
Σχήμα 1.6 Andre Ampere.....	16
Σχήμα 1.7 Michael Faraday.....	16
Σχήμα 1.8 James Maxwell.....	16
Σχήμα 1.9 Έλξη ριτισμάτων σιδήρου από μαγνήτη.....	16
Σχήμα 1.10 Μαγνητικό πεδίο-B και μαγνητικό πεδίο-H.....	17
Σχήμα 1.11 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.....	18
Σχήμα 1.12 Μαγνητική επαγωγή.....	18
Σχήμα 2.1 Παράδειγμα ρομπότ εργοστασίου.....	26
Σχήμα 2.2 Μαγνητικός αισθητήρας στο σύστημα ABS.....	27
Σχήμα 2.3 Μαγνητικός τομογράφος.....	27
Σχήμα 2.4 Ventilator (αναπνευστήρας)	28
Σχήμα 2.5 Μπλοκ διάγραμμα Ventilator (αναπνευστήρας)	28
Σχήμα 2.6 Oxygen concentrator (Συμπυκνωτές οξυγόνου)	29
Σχήμα 2.7 Μπλοκ διάγραμμα Oxygen concentrator (Συμπυκνωτές οξυγόνου)	29
Σχήμα 2.8 Blood and saliva analyzer (αναλυτής αίματος και σάλιου)	30
Σχήμα 2.9 Μπλοκ διάγραμμα Blood and saliva analyzer (αναλυτής αίματος και σάλιου)	30
Σχήμα 2.10 Μαγνήτης σε ανεμογεννήτρια.....	31
Σχήμα 3.1 Dr. Edwin Hall.....	32
Σχήμα 3.2 Αρχή φαινομένου Hall χωρίς μαγνητικό πεδίο	33
Σχήμα 3.3 Αρχή του φαινομένου με μαγνητικό πεδίο.....	34
Σχήμα 3.4 Hall effect.....	35

Σχήμα 3.5 Τάση VH Hall.....	36
Σχήμα 3.6 Δύναμη Lorentz.....	37
Σχήμα 3.7 Κανόνας δεξιού χεριού.....	37
Σχήμα 3.8 Μπλοκ διάγραμμα αισθητήρα βασιζόμενο στο φαινόμενο Hall.....	39
Σχήμα 3.9 Διάταξη Hall.....	41
Σχήμα 3.10 Γενική διάταξη αισθητήρα φαινομένου Hall.....	42
Σχήμα 3.11 Μηδενική τάση.....	43
Σχήμα 3.12 Αισθητήρας Hall αναλογικής εξόδου.....	44
Σχήμα 3.13 Συνάρτηση μεταφοράς αναλογικής εξόδου.....	45
Σχήμα 3.14 Μετατόπιση ευαισθησίας σε σχέση με την θερμοκρασία.....	46
Σχήμα 3.15 Αισθητήρας Hall ψηφιακής εξόδου.....	47
Σχήμα 3.16 Συνάρτηση μεταφοράς υστέρησης ψηφιακής εξόδου.....	48
Σχήμα 3.17 Συνάρτηση μεταφοράς υστέρησης ψηφιακής εισόδου.....	49
Σχήμα 3.18 Μπλοκ διάγραμμα σχεδίασης αισθητήρα φαινομένου Hall.....	50
Σχήμα 3.19 Είδη αισθητήρων Hall.....	51
Σχήμα 3.20 Μαγνητική κλειδαριά.....	52
Σχήμα 3.21 Μέτρηση ρεύματος με Hall sensor.....	53
Σχήμα 3.22 Αισθητήρες Hall στην αυτοκινητοβιομηχανία.....	54
Σχήμα 3.23 Εντοπισμός θέσης πιστονιών.....	54
Σχήμα 3.24 Πλυντήριο με αισθητήρα Hall.....	55
Σχήμα 3.25 Ανάγνωση κάρτας σε κλειδαριά με μαγνητικό αισθητήρα.....	55
Σχήμα 4.1 Διάταξη ενός απλού οργάνου	56
Σχήμα 4.2 Εγκάρσιοι και αξονικοί ακροδέκτες Hall.....	57
Σχήμα 4.3 Ακροδέκτης Hall τύπου 3-Axis.....	57
Σχήμα 4.4 Κύκλωμα ρύθμισης της τάσης μηδενικού πεδίου.....	58
Σχήμα 5.1 Αισθητήρας Hall CYSJ902.....	59
Σχήμα 5.2 Μπλοκ διάγραμμα του αισθητήρα CYSJ902.....	60

Σχήμα 5.3 Arduino Nano.....	60
Σχήμα 5.4 LCD display 16X2 module hd44780.....	61
Σχήμα 5.5 Ρυθμιστής τάσης LM78S05.....	61
Σχήμα 5.6 Πυκνωτές.....	62
Σχήμα 5.7 Δίοδος 1N4007.....	62
Σχήμα 5.8 Συνδεσμολογία κυκλώματος.....	63
Σχήμα 5.9 Διάγραμμα ροής.....	66
Σχήμα 5.10 Κατασκευή probe.....	69
Σχήμα 5.11 Προσομοίωση κυκλώματος σε breadboard.....	69
Σχήμα 5.12 Μεταφορά κυκλώματος σε πρωτότυπη πλακέτα PCB.....	70
Σχήμα 5.13 Ενσωμάτωση συσκευής στο πλαίσιο.....	71
Σχήμα 5.14 Τελική μορφή κατασκευής	72
Σχήμα 5.15 Μετρήσεις (μεταξύ volt με tesla)	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Κατηγοριοποίηση μαγνητικών αισθητήρων με βάση το εύρος μέτρησης μαγνητικού πεδίου.....	24
Πίνακας 5.1 Πίνακας γραμμικότητας.....	64
Πίνακας 5.2 Συσχετισμός mV με mT (Datasheet).....	64
Πίνακας 5.3 Μετρήσεις (μεταξύ volt με tesla).....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιστορία του μαγνητισμού συνεπάγεται με την ιστορία της επιστήμης. Η ικανότητα του μαγνήτη να προσελκύει σιδηρούχα αντικείμενα, ενεργώντας από απόσταση, έχει προσελκύσει την περιέργεια αμέτρητων επιστήμων πάνω από δύο χιλιετίες.

Οι αδύναμοι μαγνήτες είναι αρκετά διαδεδομένοι στη φύση με τη μορφή μαγνήτη-βράχου (lodestone) όπως το οξείδιο του σιδήρου Fe_3O_4 όπου μαγνητίστηκε από τεράστια ηλεκτρικά ρεύματα σε αστραπές. Η πρώτη μαγνητική κατασκευή, μια πρώιμη πυξίδα έγινε στην Κίνα το 400π.Χ, ένας μαγνήτης σκαλισμένος σε σχήμα κουταλιού ο «Νότιος δείκτης» και χρησιμοποιούταν για γεωμαντεία. Το κουτάλι γυρίζει στη βάση για να ευθυγραμμίσει τη λαβή του με το μαγνητικό πεδίο της Γης.



Σχήμα 1.1 Πρώτη μαγνητική κατασκευή

Οι πρώτοι τεχνητοί μαγνήτες ήταν οι χαλύβδινες βελόνες. Ένα σύντομο βήμα οδήγησε στην εφεύρεση της πυξίδας πλοήγησης από τον Shen Kua γύρω στο 1088. Ανακαλύφθηκε ξανά στην Ευρώπη έναν αιώνα αργότερα, η πυξίδα επέτρεψε τα μεγάλα ταξίδια ανακάλυψης, συμπεριλαμβανομένου του Christopher Columbus το 1492 και την ανακάλυψη της Αφρικής από τον ναύαρχο Cheng Ho το 1433.



Σχήμα 1.2 Πυξίδα πλοήγησης

Το πρώτο σύγχρονο επιστημονικό κείμενο ήρθε το 1600 “De Magnete”, από τον O Gilbert. Ο Gilbert επισήμανε ότι η πηγή της μαγνητικής δύναμης που ευθυγραμμίζει την βελόνα της πυξίδας δεν ήταν οι αστέρες που πίστευαν εκείνη την εποχή αλλά η γη η ίδια, έτσι διατύπωσε την ιδέα ότι η ίδια η Γη είναι ένας μεγάλος μαγνήτης.

Η μαγνητική έρευνα τον δέκατο έβδομο και δέκατο όγδοο αιώνα ήταν ως επί το πλείστον τον τομέα του στρατού, ιδιαίτερα του βρετανικού ναυτικού. Το 1743 έγινε η εφεύρεση του μαγνήτη – πέταλου από τον Ελβετό Daniel Bernoulli που χρησιμοποιούσαν στις σπλές του αλόγου. Έχει παραμείνει μέχρι και σήμερα το εικονίδιο του μαγνητισμού με κόκκινο χρώμα.

Οι προφανείς ομοιότητες μεταξύ μαγνητισμού και ηλεκτρισμού – έλκουν ή απωθούν - οδήγησαν σε αναζήτηση για μια βαθύτερη σύνδεση μεταξύ τους. Ήταν στη Δανία το 1820 όπου ο Hans-Christian Oersted απέδειξε ότι ένα καλώδιο μεταφοράς ρεύματος παρήγαγε ένα περιφερειακό πεδίο ικανό να εκτρέψει μια βελόνα πυξίδας. Μέσα σε λίγες εβδομάδες, Andre-Marie Ampere και ο Dominique-Francois Arago στο Παρίσι περιτύλιξαν ένα πηνίο και έδειξαν ότι το πηνίο μεταφοράς ρεύματος ήταν ισοδύναμο με έναν μαγνήτη. Η επανάσταση του ηλεκτρομαγνητισμού ξεκίνησε. Η αξιοσημείωτη ακολουθία των γεγονότων που ακολούθησαν άλλαξε τον κόσμο για πάντα.

Η διαίσθηση του Faraday ότι οι ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις θα μπορούσαν να συλληφθούν ως προς όλα τα διαπερατά πεδία ήταν κρίσιμη. Ανακάλυψε την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (1821) και απέδειξε την αρχή του ηλεκτροκινητήρα με έναν μαγνήτη-χάλυβα, ένα σύρμα μεταφοράς ρεύματος και ένα πλακίδιο υδραργύρου. Η ανακάλυψη της σύνδεσης μεταξύ μαγνητισμού και φωτός έρχεται λίγο αργότερα και πάλι από τον Faraday το 1845.

Όλη αυτή η πειραματική εργασία ενέπνευσε τον James Clerk Maxwell να διατύπωση την δικιά του θεωρία το 1864, η οποία συνοψίζεται στις τέσσερις διάσημες εξισώσεις που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 και μετά έχει συνεισφέρει η κβαντική μηχανική σημαντικά στην ανάπτυξη μαγνητικών υλικών. Μεγάλη πρόοδος στην επιστήμη γίνεται εμπειρικά, χωρίς προσφυγή στη βασική θεωρία. Ένας τομέας, ωστόσο, όπου η κβαντική μηχανική έχει κεντρική σημασία για την μαγνητική αλληλεπίδραση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι στη ραδιοσυχνότητα στο φούρνο μικροκυμάτων.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε μια τεράστια αύξηση των μαγνητικών εφαρμογών. Η επιστήμη που αναπτύχθηκε για έναν αιώνα, κυρίως στην Ευρώπη, ήταν ώριμη εκμετάλλευση σε ολόκληρο τον βιομηχανικό κόσμο. Η πρόοδος στον μαγνητισμό, τη μαγνητική καταγραφή και τα υλικά υψηλής συχνότητας υποστηρίζουν μεγάλο μέρος της πρόοδος που έχει σημειωθεί με υπολογιστές, τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό και καταναλωτικά αγαθά που ωφελούν τους περισσότερους ανθρώπους στη Γη. Οι ηλεκτρομαγνήτες αντικαταστάθηκαν από τους μόνιμους μαγνήτες σε ένα δισεκατομμύριο μικροσκοπικούς κινητήρες που κατασκευάζονται κάθε χρόνο.



Σχήμα 1.3 Shen kua



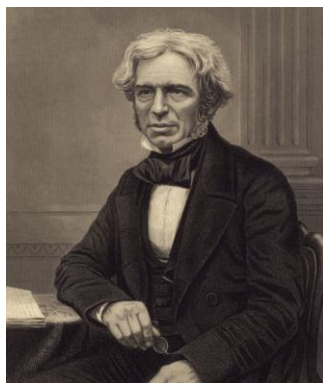
Σχήμα 1.4 William Gilbert



Σχήμα 1.5 Daniel Bernoulli



Σχήμα 1.6 Andre Ampere



Σχήμα 1.7 Michael Faraday



Σχήμα 1.8 James Maxwell

1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

1.2.1 ΜΑΓΝΗΤΗΣ

Μαγνήτες ονομάζουμε τα σώματα που δημιουργούν μαγνητικό πεδίο στον περιβάλλοντα χώρο όταν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους ή ένας μαγνήτης και ένα σώμα το οποίο μπορεί να μαγνητισθεί.

Την μορφή του μαγνητικού πεδίου μπορούμε να την καταλάβουμε καλύτερα από την κατανομή των ρινισμάτων σιδήρου που έλκονται από έναν μαγνήτη. Οι περιοχές με την μεγαλύτερη συγκέντρωση ρινισμάτων είναι οι δυο πόλοι του πεδίου (και του μαγνήτη). Οι ομώνυμοι πόλοι απωθούνται ενώ οι ετερόνυμοι έλκονται όπως συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά φορτία. Για αυτό και όταν ένας μαγνήτης εισαχθεί σε μαγνητικό πεδίο, ευθυγραμμίζεται με αντίθετη πολικότητα από αυτή του πεδίου. Έτσι μειώνεται στο ελάχιστο η μαγνητική ενέργεια του συστήματος.



Σχήμα 1.9 Έλξη ρινισμάτων σιδήρου από μαγνήτη

Η αιτία μαγνητισμού είναι το ρεύμα, αυτό γίνεται από τα μαγνητικά δίπολα. Ένα μαγνητικό δίπολο είναι το όριο είτε ενός κλειστού βρόχου ηλεκτρικού ρεύματος είτε ενός ζεύγους πόλων καθώς το μέγεθος της πηγής μειώνεται στο μηδέν διατηρώντας παράλληλα τη μαγνητική ροπή σταθερή. Η

ύπαρξη των ατομικών μαγνητικών δίπολων οφείλεται στην κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα, αυτή κίνηση του ηλεκτρονίου μπορεί να θεωρηθεί σαν κυκλικό ρεύμα.

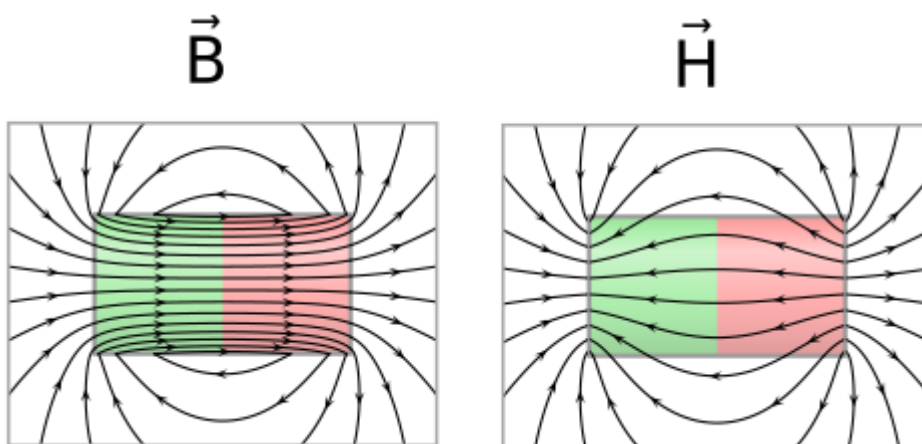
1.2.2 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος εντός του οποίου ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις σε κινούμενα ηλεκτρικά φορτία ή σε μεταλλικά υλικά. Ένα μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζεται ασθενές ή ισχυρό, και ομοιόμορφο ή ανομοιόμορφο από το αν οι μαγνητικές γραμμές του είναι παράλληλες ή όχι. Δημιουργείται επίσης από τα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία και σχηματίζεται γύρω από ρευματοφόρους αγωγούς. Όπως και στα ηλεκτρικά φορτία υπάρχουν ελκτικές και απωθητικές δυνάμεις έτσι υπάρχει εξίσου και στην ποσότητα μαγνητισμού. Η διαφορά τους είναι ότι, ενώ υπάρχουν μεμονωμένα ηλεκτρικά φορτία (θετικά ή αρνητικά), δεν υπάρχουν μεμονωμένες ποσότητες μαγνητισμού.

Τέλος ο όρος μαγνητικό πεδίο χρησιμοποιείται για δύο ξεχωριστά αλλά εξίσου συνδεδεμένα πεδία - στο κενό είναι ίδια αλλά διαφέρουν με τον τρόπο που μαγνητίζουν - το μαγνητικό πεδίο-B και το μαγνητικό πεδίο-H.

Στο μαγνητικό πεδίο-B οι γραμμές του δεν ξεκινούν ούτε τελειώνουν, μια γραμμή πεδίου είτε εκτείνεται στο άπειρο είτε τυλίγεται γύρω από το σχηματισμό μιας κλειστής καμπύλης. Οι γραμμές μαγνητικού πεδίου εξέρχονται από έναν μαγνήτη κοντά στο βόρειο πόλο και εισέρχονται κοντά στο νότιο πόλο, αλλά μέσα στο μαγνήτη οι γραμμές συνεχίζουν από τον νότιο πόλο πίσω στο βόρειο. Όσο πιο πυκνές είναι οι μαγνητικές γραμμές του τόσο πιο ισχυρό είναι. Συμβολίζεται με B και μετριέται σε T (Tesla) ή G (Gauss). 1 tesla = 10.000 gauss.

Το μαγνητικό πεδίο-H ανάλογο με το ηλεκτρικό πεδίο E, το οποίο ξεκινά με θετικό ηλεκτρικό φορτίο και καταλήγει σε αρνητικό. Κοντά στον βόρειο πόλο οι γραμμές πεδίου H δείχνουν μακριά από αυτόν είτε μέσα στον μαγνήτη είτε έξω, ενώ κοντά στον νότιο πόλο όλες οι γραμμές πεδίου H δείχνουν προς αυτόν. Συμβολίζεται με H μετριέται σε [ampere](#)/meter και σε Oe (oersted). 1 ampere/m = 4×10^{-3} oersted



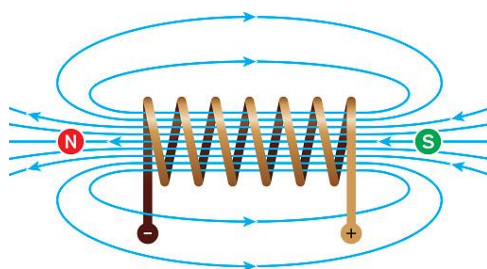
Σχήμα 1.10 Μαγνητικό πεδίο-B και μαγνητικό πεδίο-H

1.2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος που το πεδίο περιβάλλει ένα ηλεκτρικό φορτίο και ασκεί δύναμη σε άλλα φορτία απωθώντας τα ή προσελκύοντας τα.

1.2.4 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

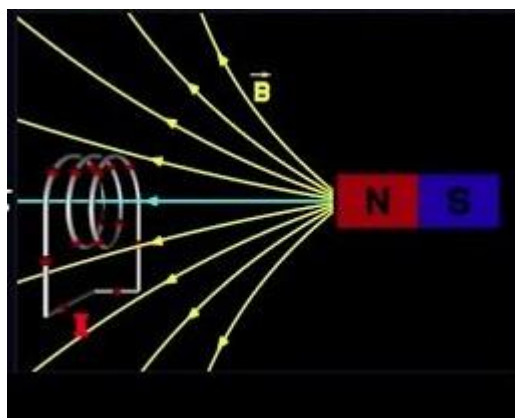
Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός ηλεκτρικού πεδίου και μαγνητικού πεδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο παράγεται με στάσιμα φορτία και το μαγνητικό πεδίο με κινούμενα φορτία (ρεύματα). Έτσι ο χώρος που περιβάλλει ένα ηλεκτρικό φορτίο ή η ύπαρξη ενός μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 1.11 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο

1.2.5 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

Όταν ένα μαγνητικό πεδίο παράγεται σε ένα μέσο από ένα ηλεκτρικό ρεύμα, η απόκριση του μέσου είναι η μαγνητική του επαγωγή B . Συνηθέστερα, η μαγνητική επαγωγή ορίζεται με όρους δύναμης, που ασκείται σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο q ή σε ηλεκτρικό ρεύμα και μετράτε σε μονάδες Tesla (T).



Σχήμα 1.12 Μαγνητική επαγωγή

1.2.6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

Μαγνητική ροπή είναι η μαγνητική ισχύς και ο προσανατολισμός ενός μαγνήτη ή άλλου αντικειμένου που παράγει ένα μαγνητικό πεδίο. Είναι το γινόμενο της μαγνητικής μάζας ενός από τους μαγνητικούς πόλους ενός μαγνήτη επί την απόσταση των δύο πόλων αυτού.

1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Ο ιδρυτής της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα θεωρείται ο James Clerk Maxwell με τις **τέσσερις** διάσημες εξισώσεις του οι οποίες περιγράφουν την συμπεριφορά ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων.

- 1) **Ο νόμος του Gauss για το ηλεκτρικό πεδίο** περιγράφει της σχέση ανάμεσα σε ένα στατικό ηλεκτρικό πεδίο και τα ηλεκτρικά φορτία που το προκαλούν. Υπολογίζοντας τον συνολικό αριθμό των δυναμικών γραμμών που διέρχονται μέσω μιας κλειστής επιφάνειας, προσδιορίζουμε το συνολικό φορτίο που περικλείεται από την επιφάνεια αυτή δια της διαπερατότητας του ελεύθερου χώρου.

$$\oiint_{\partial\Omega} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_{\Omega} \rho dV \quad (1.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1.2)$$

- 2) **Ο νόμος του Gauss για το μαγνητικό πεδίο** περιγράφει ότι η ύπαρξη μαγνητικών δίπολων εξασφαλίζει τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων. Αυτή η εξίσωση, από την πλευρά των δυναμικών γραμμών, εκφράζει ότι οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ούτε αρχίζουν, ούτε τελειώνουν, αλλά σχηματίζουν βρόχους ή επεκτείνονται στο άπειρο και επιστρέφουν πάλι πίσω. Η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από μια κλειστή επιφάνεια ισούται με το μηδέν.

$$\oiint_{\partial\Omega} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (1.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.4)$$

- 3) **Ο Νόμος του Faraday** ή Νόμος της επαγωγής, περιγράφει πώς ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η κυκλοφορία του ηλεκτρικού πεδίου θα πρέπει να ισούται με τον αρνητικό ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής. Αυτή η πλευρά της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αποτελεί την αρχή λειτουργίας σχεδόν κάθε ηλεκτρικής γεννήτριας.

$$\oint_{\partial\Sigma} \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.5)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.6)$$

- 4) **Ο Νόμος του Ampere** σε συνδυασμό με την προσθήκη του Maxwell περιγράφει τον τρόπο δημιουργίας των μαγνητικών πεδίων. Ο πρώτος τρόπος αναφέρεται στο ηλεκτρικό ρεύμα και πρόκειται για τον αρχικό νόμο του Ampere ενώ Ο δεύτερος σχετίζεται με τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία και πρόκειται για την προσθήκη του Maxwell. Η προσθήκη αυτή ήταν σημαντική γιατί αποδεικνύει ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ένα ηλεκτρικό πεδίο αλλά και το αντίστροφο.

$$\oint_{\partial\Sigma} \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\ell} = \mu_0 \iint_{\Sigma} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.7)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \quad (1.8)$$

Όπου:

- \mathbf{E} είναι το μαγνητικό πεδίο,
- \mathbf{B} το ηλεκτρικό πεδίο,
- \mathbf{J} η πυκνότητα ρεύματος,
- ρ η συνολική πυκνότητα φορτίου,
- ϵ_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού,
- μ_0 μαγνητική διαπερατότητα του κενού
- και στις ολοκληρωτικές εξισώσεις,
- Ω δηλώνει έναν όγκο, και $\partial\Omega$ είναι η κλειστή επιφάνεια που τον περικλείει, με την κανονική κατεύθυνση από μέσα προς τα έξω,
- $d\mathbf{V}$ δηλώνει ένα διαφορικό στοιχείο όγκου του Ω ,
- Σ δηλώνει μία μη-κλειστή επιφάνεια (με την υπόθεση ότι είναι ανεξάρτητη του χρόνου),
- $d\mathbf{S}$ δηλώνει ένα διαφορικό διανυσματικής περιοχής στοιχείο του $\partial\Omega$ ή Σ , παράλληλο προς την κανονική επιφάνεια, και
- $\partial\Sigma$ είναι ο κλειστός βρόχος που κυκλοφορούν γύρω από την Σ , αριστερόστροφα (σύμφωνα με το $d\mathbf{S}$).

Εξίσωση του Lorentz η οποία μας δείχνει τη δύναμη σε ένα σωματίδιο με φόρτιση q που κινείται με ταχύτητα v , η οποία υπόκειται σε ηλεκτρική και μαγνητική πεδία.

$$\mathbf{f} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.9)$$

Ο **νόμος των Biot-Savart** είναι μια εξίσωση του ηλεκτρομαγνητισμού που περιγράφει το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής \mathbf{B} μέσω του μέτρου και της διεύθυνσης του ηλεκτρικού ρεύματος, της απόστασης από το ηλεκτρικό ρεύμα, και της μαγνητικής διαπερατότητας.

$$d\mathbf{B} = K_m \frac{Id\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} \quad (1.10)$$

1.4 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τα μαγνητικά υλικά χωρίζονται σε μαλακά και σκληρά. Οι προσωρινοί μαγνήτες οι οποίοι κατασκευάζονται από μαλακά υλικά δεν μπορούν να παραμείνουν μαγνητισμένοι από μόνοι τους, χρειάζεται να βρίσκονται μέσα σε ένα ήδη υπάρχων μαγνητικό πεδίο.

Κατηγορίες μαλακών μαγνητικών υλικών:

- Πυριτικοί Χάλυβες
- Sendust (μαγνητική μεταλική σκόνη)
- Permalloys (μαγνητικό κράμα νικελίου – σιδήρου)
- Αμορφα Κράματα Fe-Co-B
- Νανοκρυσταλλικά
- Κυβικοί Fe (φερρίτες)

Η επιλογή μαλακού μαγνητικού υλικού είναι μια αντιστάθμιση μεταξύ πόλωσης, διαπερατότητας, απώλειας και κόστους. Η πόλωση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη για ένα δεδομένο πεδίο διέγερσης και οι απώλειες πυρήνα πρέπει είναι αποδεκτές στη συχνότητα λειτουργίας. Προσθήκες κραμάτων όπως C, Si ή Al, μπορούν μειώσουν τις απώλειες και αυξάνουν τη διαπερατότητα καθώς να μειώσουν επίσης τον κορεσμό της πόλωσης και αύξηση του κόστους. Ο ήπιος χάλυβας χαμηλού άνθρακα χρησιμοποιείται για φθηνούς κινητήρες σε καταναλωτικά προϊόντα όπως πλυντήρια ρούχων, ηλεκτρικές σκούπες, ψυγεία και ανεμιστήρες, όπου υπάρχουν απώλειες που έχουν λίγο ενδιαφέρον για τον κατασκευαστή όπως επίσης και σε πυρήνες μετασχηματιστών σε στάτορες και ρότορες για μοτέρ και γεννήτριες γιατί έχουν την ιδιότητα να μαγνητίζονται και να απομαγνητίζονται εύκολα.

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευασμένοι από σκληρά μαγνητικά υλικά διαφέρουν από τους προσωρινούς μαγνήτες λόγω της ικανότητάς τους να παραμένουν μαγνητισμένοι χωρίς την επίδραση ενός κοντινού εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Συνήθως, οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από "σκληρά" μαγνητικά υλικά όπου το "σκληρό" αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού να μαγνητιστεί και να παραμείνει μαγνητισμένο.

Κατηγορίες σκληρών μαγνητικών υλικών:

- Χάλυβες
- ALNiCo (κράμα σιδήρου)
- Εξαγωνικοί Fe (φερρίτες)
- Διαμεταλλικές Ενώσεις Σπανίων Γαιών
- Nd-Fe-B (νεοδημίου)

Στην αγορά μόνιμων μαγνητικών υλικών κυριαρχούν οι εξαγωνικοί φερρίτες και οι Nd-Fe-B . Στην παραγωγή τον όγκο και το κόστος τους διαφέρουν αρκετά.

Οι συσκευές συρρικνώνονται καθώς το πλεονέκτημα των μαγνητών αυτών είναι ότι μπορούν να εκτιμηθούν τα πηνία αν να γίνει η σύγκριση ενός μικρού μαγνήτη σε σχήμα δίσκου με ένα πηνίο που έχει την ίδια μαγνητική ροπή σε μικρές κατασκευές. Ένας μαγνητισμένος κύλινδρος με διάμετρο 8 mm και ύψος 2 mm από υλικό με $M = 1 \text{ MA m}^{-1}$ έχει $m \approx 0,1 \text{ Am}^2$. Ο ισοδύναμος βρόχος ρεύματος, $m = IA$ θα απαιτούν 2000 στροφές αμπερ, μια αδύνατη ζήτηση σε τόσο μικρό χώρο. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που να μην είναι εύκολος ο απομαγνητισμός, όπως μεγάφωνα, συσκευές τηλεφώνων κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΦΥΣΗ

Ο μαγνητικός αισθητήρας αποτελεί θεμελιώδη μορφή αισθητήρα που χρησιμοποιείται από ίδια τη φύση και τα πλάσματά της. Συγκεκριμένα, το μαγνητικό πεδίο της Γης ασκεί κάποιες δυνάμεις οι οποίες προέρχονται και από τους δύο μαγνητικούς πόλους της Γης και βοηθά τα αποδημητικά πουλιά να βρουν τον δρόμο τους καθώς επίσης και τις μέλισσες στις οποίες στο σώμα τους έχουν βρεθεί μικροσκοπικοί κρύσταλλοι μαγνητίτη, έτσι τις βοηθά να προσανατολίζονται και να μην χάνουν τον δρόμο από την κυψέλη τους.

Κοντά στους πόλους το πεδίο είναι ισχυρότερο και μεταβάλλεται σταθερά με το γεωγραφικό πλάτος, επίσης επηρεάζεται από την ώρα της ημέρας καθώς είναι πιο σταθερό την νύχτα και πιο δραστήριο την ημέρα, λόγω θέρμανσης της ιονόσφαιρας και έτσι δημιουργούνται ηλεκτρικά ρεύματα, τις ηλιακές κηλίδες, και διάφορες ανωμαλίες του πεδίου.

2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ - ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Αισθητήρας είναι μια συσκευή, μια μονάδα ή ένα μηχάνημα με σκοπό την μέτρηση ενός μεγέθους μέσα από την ανίχνευση συμβάντων ή αλλαγών στο περιβάλλον του μετατρέποντας αυτήν την μέτρηση σε ηλεκτρικό σήμα εξόδου δηλαδή τάση ή ρεύμα και την αποστολή των πληροφοριών σε άλλα ηλεκτρονικά, συχνά σε έναν επεξεργαστή.

Στην περίπτωση μας, **μαγνητικός αισθητήρας** είναι ένας αισθητήρας που χρησιμοποιείται για να παρατηρήσει διαταραχές καθώς και αλλαγές μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο όπως δύναμη, κατεύθυνση και ροή. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι αισθητήρων ανίχνευσης που μπορούν να λειτουργήσουν σε μερικά από τα χαρακτηριστικά, όπως φως, πίεση, θερμοκρασία. Οι επιστήμες που εμπλέκονται κυρίως για την κατασκευή μαγνητικών αισθητήρων είναι η ηλεκτρονική και η φυσική.

2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η κατηγοριοποίηση των μαγνητικών αισθητήρων θα μπορούσε να γίνει με βάση το εξερχόμενο σήμα του κάθε αισθητήρα, με τον διαχωρισμό τους ανάλογα την ευαισθησία τους, με το εύρος μέτρησης του μαγνητικού πεδίου κ.α. Εμείς θα ασχοληθούμε με το τελευταίο.

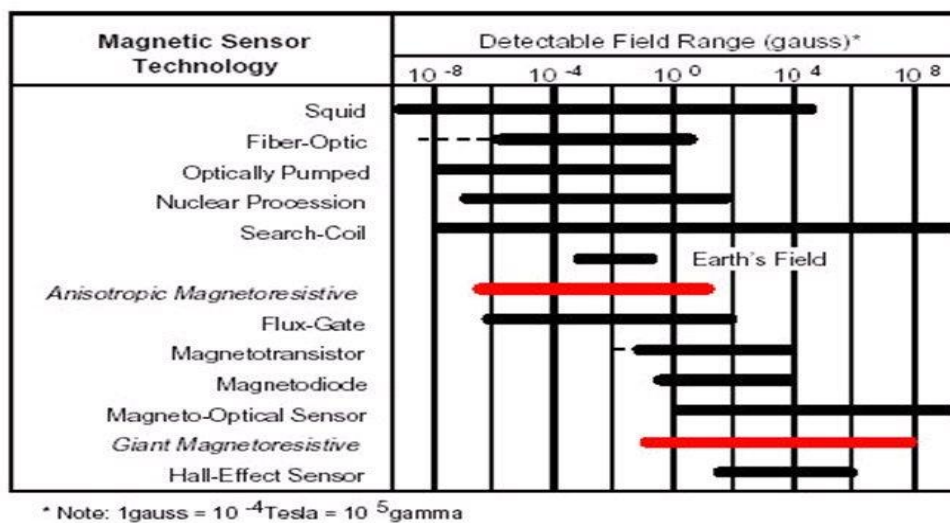
Έτσι οι κατηγορίες των μαγνητικών αισθητήρων με βάση το εύρος μέτρησης του μαγνητικού πεδίου είναι:

- **Low filed sensors** (Αισθητήρες ασθενούς μαγνητικού πεδίου)
Μπορούν να ανιχνεύσουν πολύ χαμηλές τιμές μαγνητικού πεδίου, λιγότερο από 1G (gauss) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ιατρικές και γεωλογικές εφαρμογές .
Μερικοί από τους αισθητήρες ασθενούς μαγνητικού επιπέδου είναι οι αισθητήρες SQUID και search coil.
- **Earth field sensors** (Αισθητήρες μέσου μαγνητικού πεδίου)
Μετράνε πεδία της τάξης των 1 μ G (microgauss) με 10G (gauss). Χρησιμοποιούνται κυρίως για πλοήγηση για τον λόγο ότι χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο της γης για να καθορίσουν την πορεία του οχήματος .

Κάποιοι από τους αισθητήρες μεσαίου μαγνητικού επιπέδου είναι οι αισθητήρες Flux-Gate (αισθητήρες πύλης ροής) και Anisotropic Magnetoresistance (αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης) αλλιώς και AMR.

- **Bias magnet filed sensors** (Αισθητήρες υψηλού μαγνητικού πεδίου)
Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν περισσότερο από 10G (gauss) και χρησιμοποιούνται κατά κύριον λόγο για την μέτρηση μαγνητικού πεδίου.
Αισθητήρες υψηλού μαγνητικού πεδίου είναι όπως οι αισθητήρες Giant Magnetoresistance (αισθητήρας τεράστιας μαγνητοαντίστασης) αλλιώς GMR και αισθητήρες φαινομένου Hall, για τους οποίους θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 2.1 Κατηγοριοποίηση μαγνητικών αισθητήρων με βάση το εύρος μέτρησης μαγνητικού πεδίου



Τα σημαντικότερα **χαρακτηριστικά** των μαγνητικών αισθητήρων είναι:

- Συμβατότητα
- Εύρος λειτουργίας
- Αβεβαιότητα
- Ακρίβεια
- Επαναληψιμότητα
- Διακριτότητα
- Ευαισθησία
- Υστέρηση
- Θόρυβος
- Διαστάσεις
- Γραμμικότητα

Η συμβατότητα είναι ένα μέγεθος που περιγράφει κατά πόσον η εγκατάσταση του οργάνου θα επηρεάσει την τιμή της παραμέτρου που πρόκειται να μετρήσει. Ιδανικό από άποψη συμβατότητας θεωρείται ένα όργανο που δεν την επηρεάζει καθόλου. Το εύρος λειτουργίας ενός αισθητήρα ορίζεται από τα όρια, εντός των οποίων μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα. Συνήθως, εκφράζεται με την

ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει. Επιπλέον, ως εύρος λειτουργίας αναφέρεται το θερμοκρασιακό εύρος, το εύρος τιμών πίεσης ή το εύρος τιμών υγρασίας, εννοώντας την περιοχή τιμών θερμοκρασίας, πίεσης ή υγρασίας αντίστοιχα, στην οποία είναι δυνατή η χρήση του αισθητήρα.

Η ακρίβεια ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να περιέχεται στην ένδειξή του. Στην πραγματικότητα όλες οι συσκευές έχουν σφάλμα στις μετρήσεις τους και πρέπει αυτό το σφάλμα να είναι το μικρότερο δυνατό.

Επαναληψιμότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο μια συσκευή παρέχει το ίδιο αποτέλεσμα τροφοδοτούμενος με την ίδια είσοδο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η διακριτότητα ή διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μικρότερο διάστημα που μπορεί να μετρηθεί από αυτόν. Όσο μεγαλύτερη διακριτότητα διαθέτει μία αισθητήρια διάταξη, τόσο μικρότερο βήμα μετράει.

Η ευαισθησία ενός οργάνου είναι η ελάχιστη μεταβολή της εισόδου του που είναι σε θέση να δώσει μεταβολή στην έξοδό του

Η υστέρηση προκαλεί διαφορές στην έξοδο ενός αισθητήρα όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Έτσι παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής.

Θόρυβος δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης από εξωτερικούς παράγοντες, όπως γειτνίαση με πηγές τάσης υψηλής συχνότητας, πηγές εκπομπής ήχου κ.α.. Η βάση λειτουργίας κάθε αισθητήρα καθορίζει κατά πόσον επηρεάζεται η ακρίβειά του και η διακριτότητά του λόγω θορύβου.

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα αναφέρονται στο μέγεθός του.

Γραμμικότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μια ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός για μια περιοχή τιμών.

2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Οι μαγνητικοί αισθητήρες έχουν αναπτυχθεί από εταιρείες για να έχουν υψηλή ευαισθησία, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, λειτουργία υψηλής συχνότητας και θερμοκρασίας καθώς και να έχουν συγκεκριμένες λειτουργίες σχεδιασμού ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να έχει έναν αξιόπιστο και ανθεκτικό μαγνητικό αισθητήρα για βέλτιστη απόδοση.

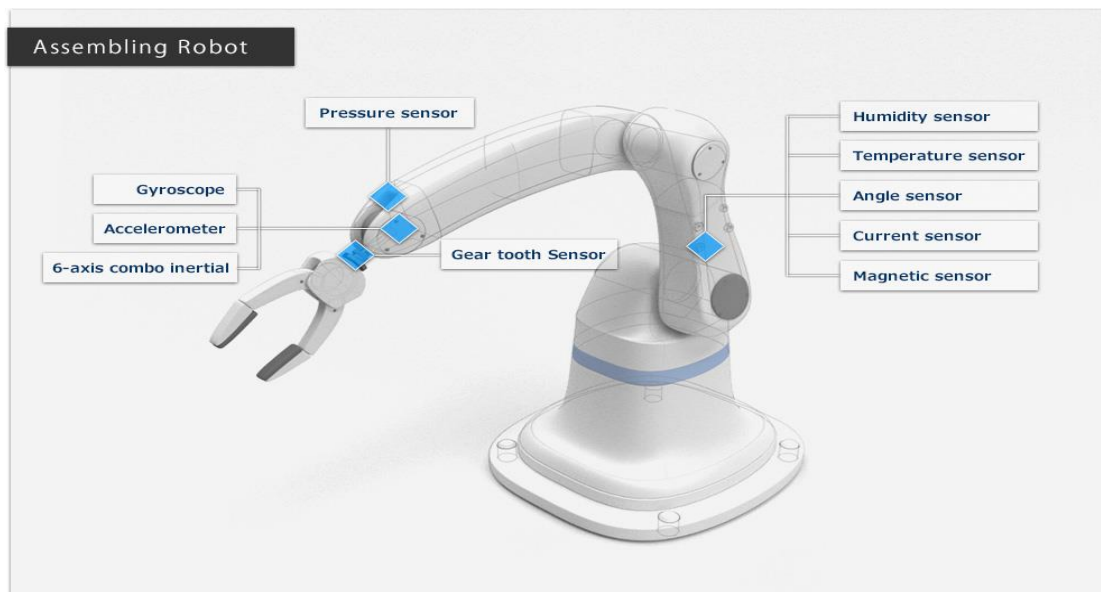
Υπάρχουν πολλές βιομηχανίες όπου οι μαγνητικοί αισθητήρες είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι, μερικές από αυτές θα δούμε παρακάτω.

Μονάδες διανομής ισχύος - Power Distribution Units (PDU)

Το cloud computing και η μεγάλη ανάλυση δεδομένων είναι ένας ολοένα και μεγαλύτερος τομέας της νέας βιομηχανίας. Εξαιτίας αυτού, υπήρξε αυξημένη παραγωγή μονάδων διανομής ισχύος που αποτελούν το κύριο μέρος των κέντρων δεδομένων και μεγάλων διακομιστών. Η υποδομή κέντρου δεδομένων χρειάζεται PDU για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας AC ή DC στους διακομιστές. Οι μαγνητικοί αισθητήρες βοηθούν το PDU να παρέχει φιλτράρισμα ισχύος στον διακομιστή και έξυπνη εξισορρόπηση φορτίου. Μπορούν επίσης να παρακολουθούνται εξ αποστάσεως.

Ρομποτική εργοστασίων

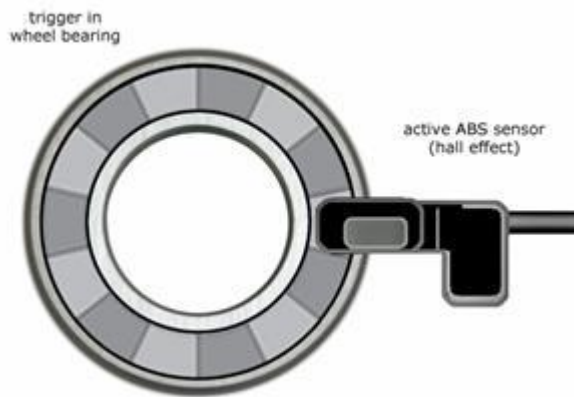
Ένας άλλος πρόσφατος τομέας της βιομηχανικής ανάπτυξης είναι η ρομποτική και η υιοθέτηση της ρομποτικής για αυτοματοποίηση εργοστασίων. Οι μαγνητικοί αισθητήρες, ιδιαίτερα η ανίχνευση γραμμικής και γωνιακής θέσης διαδραματίζουν μεγάλο ρόλο στο να διατηρούν τη λειτουργία των μηχανήματων στο εργοστάσιο ομαλή. Οι μαγνήτες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κίνησης των ρομπότ από την άποψη της ακρίβειας και της σταθερότητας. Καθώς αυξάνεται η ζήτηση για γρηγορότερες και αποδοτικότερες γραμμές παραγωγής, ο ρόλος του μαγνητικού αισθητήρα έχει επίσης εξελιχθεί ώστε να περιλαμβάνει τη χρήση διακοπών ασφαλείας και ανίχνευσης εγγύτητας.



Σχήμα 2.1 Παράδειγμα ρομπότ εργοστασίου

Εφαρμογές στον Αυτοματισμό

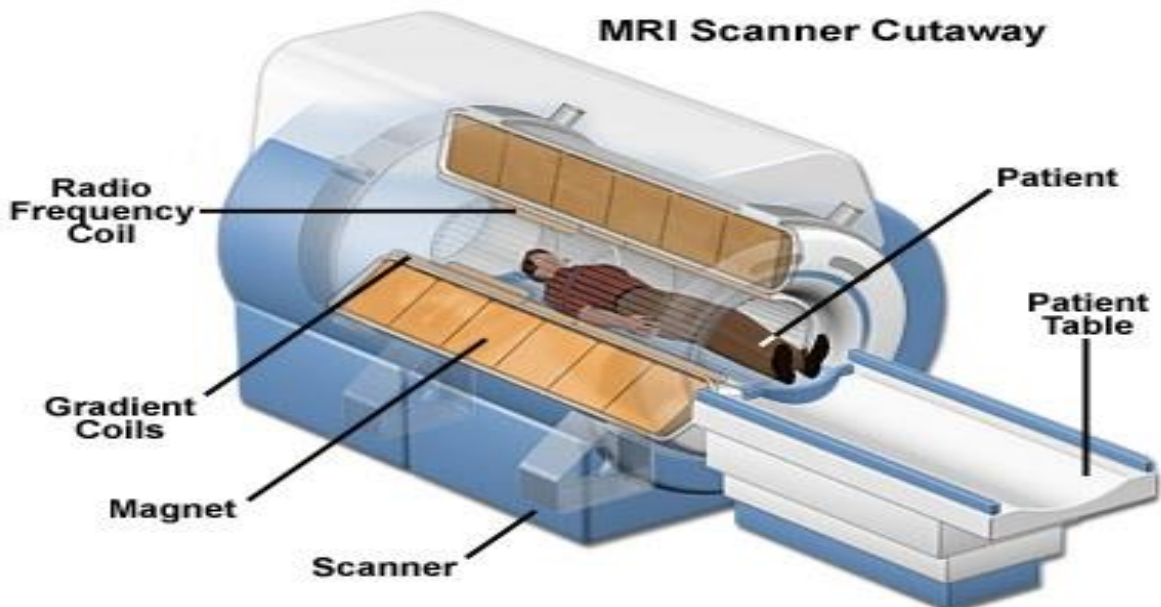
Στα καινούρια οχήματα υπάρχει η τάση για χρησιμοποίηση όλο και περισσότερων αισθητήρων. Στην σημερινή αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιούνται περισσότεροι από 1500 αισθητήρες. Οι μαγνητικοί αισθητήρες κυριαρχούν σε πολλές αισθητήριες εφαρμογές αυτού του χώρου, με σημαντικότερο και πιο γνωστό τον γωνιακό μαγνητικό αισθητήρα θέσης που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του συστήματος ABS στα φρένα των αυτοκινήτων καθώς και οι αισθητήρες ροπής στρέψης οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο πηδάλιο διεύθυνσης του τροχού και στην παρακολούθηση της λειτουργίας της ατράκτου.



Σχήμα 2.2 Μαγνητικός αισθητήρας στο σύστημα ABS

Εφαρμογές στην ιατρική

Οι εφαρμογές των μαγνητικών αισθητήρων στην ιατρική είναι πάρα πολλές όπως ο μαγνητικός τομογράφος ο οποίος βασίζεται στο γεγονός ότι τα διάφορα όργανα του ανθρώπινου σώματος δημιουργούν μαγνητικά πεδία (Biomagnetic Fields) με διάφορες εντάσεις οι οποίες μπορούν να μετρηθούν. Επίσης κάποιες ακόμα εφαρμογές είναι ο ventilator (αναπνευστήρας), Oxygen concentrators (Συμπυκνωτές οξυγόνου) όπου με την βοήθεια των μαγνητικών αισθητήρων γίνεται ο έλεγχος των στροφών κινητήρα και ο blood and saliva analyzer (αναλυτής αίματος και σάλιου) όπου ανιχνεύει τη θέση του μαγνήτη στην υποδεικνυόμενη θέση της βελόνας εξαγωγής ή του δείγματος.

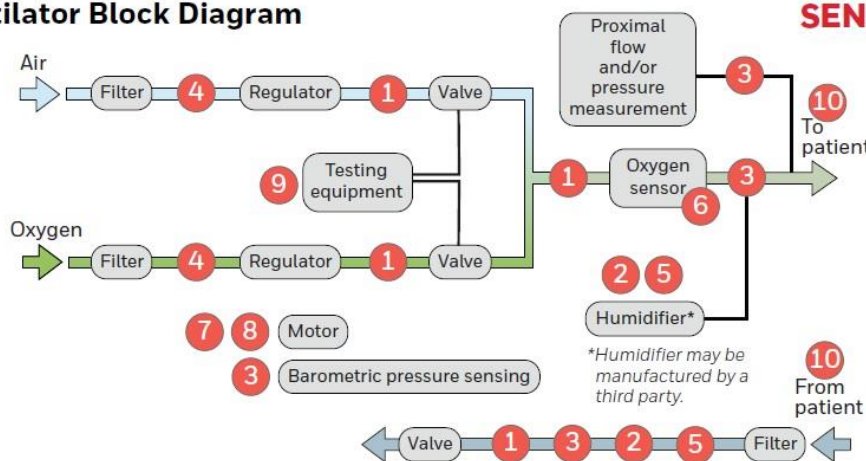


Σχήμα 2.3 Μαγνητικός τομογράφος



Σχήμα 2.4 Ventilator (αναπνευστήρας)

Ventilator Block Diagram



SENSORS USED IN VENTILATORS

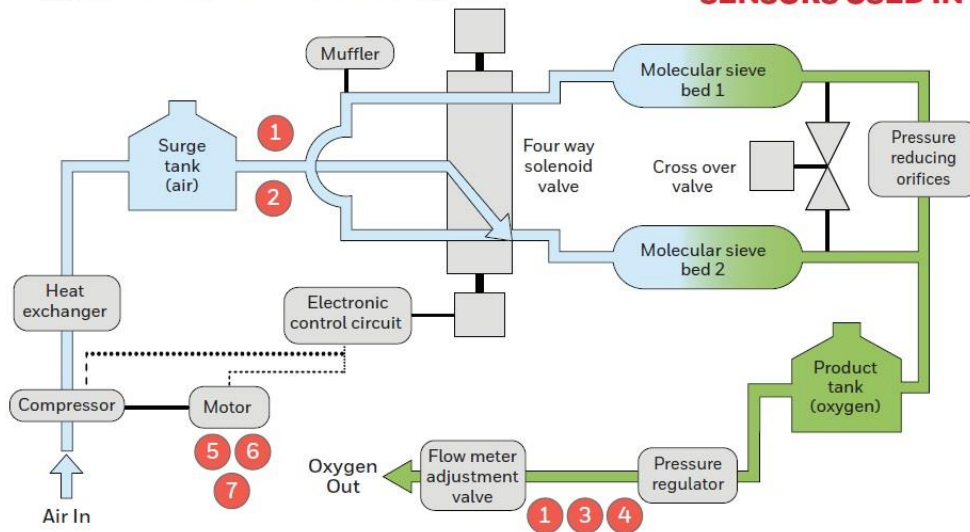
- 1 Airflow Sensors
Honeywell Zephyr™ HAF Series, AWM series
- 2 Temperature Sensors
192 Series, 194 Series, 500 Series
- 3 Pressure Sensors - Board Mount
TruStability™ HSC Series, Basic ABP Series,
- 4 Pressure Transducers - Heavy Duty
MIP Series, MLH Series
- 5 Humidity/Temperature Sensors
HH-4000/6000/6100 Series
HH-7000/8000 Series
- 6 Oxygen Sensors
OOM Series
- 7 Magnetic Sensors
SS360/SS460 Series
- 8 Basic and AML Switches
DM, Z, and V1.5W Basics; AML Series (PB & Rockers)
- 9 Pressure Sensors
FP5000 Series
- 10 Barcode Scan Engines & Software
N670X/N660X Series; SwiftDecoder™

Σχήμα 2.5 Μπλοκ διάγραμμα Ventilator (αναπνευστήρας)



Σχήμα 2.6 Oxygen concentrator (Συμπυκνωτές οξυγόνου)

Oxygen Concentrator Block Diagram



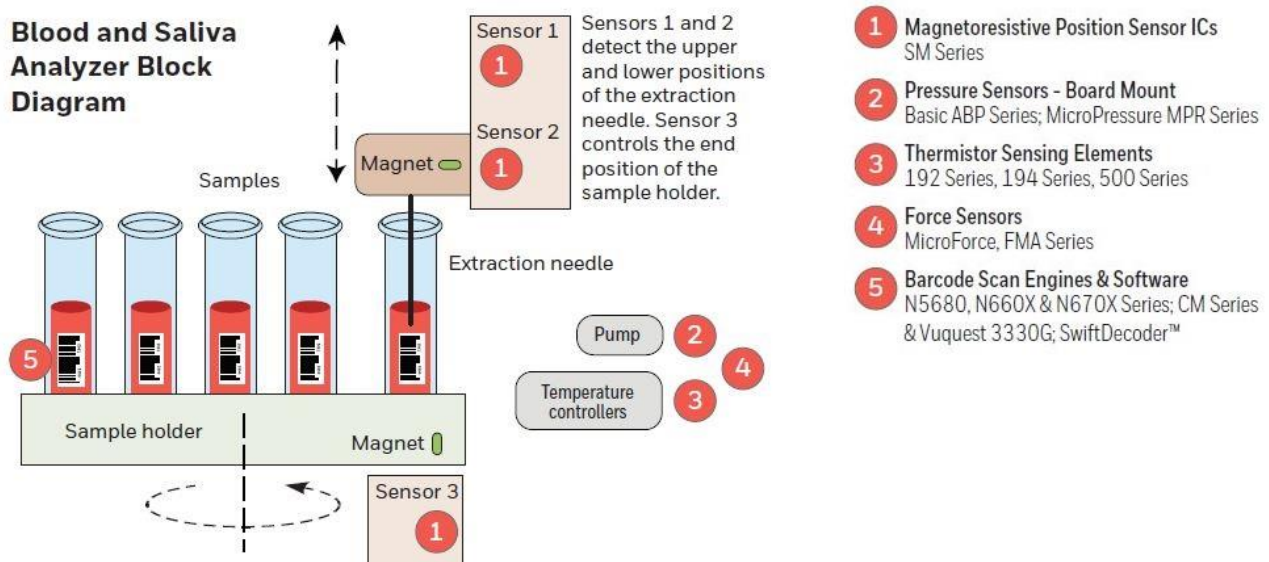
SENSORS USED IN OXYGEN CONCENTRATORS

- 1 Pressure Sensors - Board Mount
MicroPressure MPR Series,
Basic ABP Series
- 2 Pressure Transducers - Heavy Duty
MIP Series, MLH Series
- 3 Airflow Sensors
AWM90000 Series
- 4 Oxygen Sensor
OOM Series
- 5 Magnetic Sensors
SS360/SS460 Series
- 6 Basic and AML Switches
Z, V15W Basics; AML Series (PB and Rockers)
- 7 Pressure Switches
LE and LP Series

Σχήμα 2.7 Μπλοκ διάγραμμα Oxygen concentrator (Συμπυκνωτές οξυγόνου)



Σχήμα 2.8 Blood and saliva analyzer (αναλυτής αίματος και σάλιου)



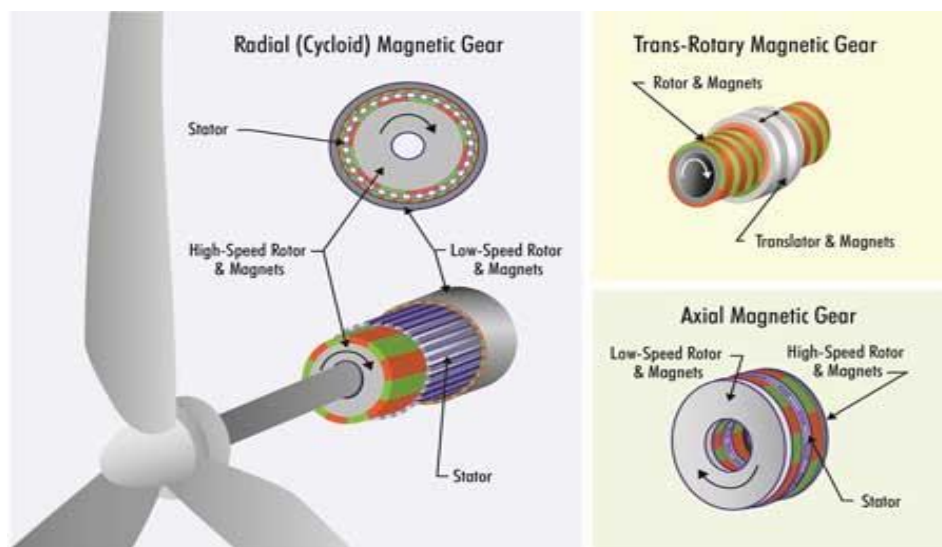
Σχήμα 2.9 Μπλοκ διάγραμμα Blood and saliva analyzer (αναλυτής αίματος και σάλιου)

Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Θέμα ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες είναι η προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό που μπορεί να προσφέρει η επιστήμη των μαγνητικών αισθητήρων προς αυτή την κατεύθυνση είναι η μέτρηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που επηρεάζουν την περιβαλλοντική κατάσταση.

Πράσινη ενέργεια

Οι μαγνητικοί αισθητήρες μπορούν να αποτελέσουν κρίσιμο μέρος του ρεύματος χωρίς επαφή, της γωνιακής θέσης και της ανίχνευσης διακοπών για μονάδες παραγωγής πράσινης ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες. Η ανίχνευση γωνιακής θέσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βέλτιστη παραγωγή αιολικής ενέργειας, ενώ τα ηλιακά κουτιά επωφελούνται από αισθητήρες ρεύματος χωρίς επαφή.



Σχήμα 2.10 Μαγνήτης σε ανεμογεννήτρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL

Η ανακάλυψη του φαινομένου Hall προέρχεται από τον Δρ Edwin Hall το 1879 ενώ ήταν υποψήφιος διδακτορικός υπό την επίβλεψη του Henry Rollin στο Πανεπιστήμιο Johns Hopkins στη Βαλτιμόρη. Η προσπάθεια του να επαληθεύσει την θεωρία για την ροή των ηλεκτρονίων την οποία πρότεινε ο Kelvin περίπου 30 χρόνια πριν τον οδήγησε στην ανακάλυψη του φαινομένου. Ο Hall έκανε την εξής παρατήρηση. Όταν τοποθέτησε έναν μαγνήτη του οποίου το μαγνητικό πεδίο ήταν κάθετο στην όψη ενός λεπτού αγώγιμου ελάσματος που διαρρέεται από ρεύμα, δημιουργήθηκε διαφορά δυναμικού σε διεύθυνση που είναι κάθετη στο ρεύμα και στο μαγνητικό πεδίο. Διαπίστωσε λοιπόν ότι αυτή η τάση ήταν ανάλογη με το ρεύμα και την πυκνότητα ροής που ρέει μέσω του αγωγού. Το φαινόμενο συνεπώς ονομάστηκε φαινόμενο hall (hall effect) και το προξενεί η μονομερής απόκλιση των φορέων φορτίου, λόγω της αλληλεπίδρασης με το μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 3.1 Dr. Edwin Hall

Το 1880 διδακτορική διατριβή για τον Edwin Hall αποτέλεσαν τα αποτελέσματα και συμπεράσματα αυτών των πειραμάτων. Η διδακτορική διατριβή του μάλιστα δημοσιεύτηκε στα έντυπα των εξής επιστημονικών περιοδικών : American journal of science και Philosophical Magazine.

Τα πειράματα του Hall ήταν όχι μόνο απλά αλλά και επιτυχημένα αλλά έγιναν δεκτά εκείνη την εποχή σε βαθμό τέτοιο ώστε ο επιστήμονας Kelvin να χαρακτηρίσει την διατριβή αυτή συγκρίσιμη με την σημαντική ανακάλυψη του Faraday. Παρόλα αυτά δεν βρέθηκαν εφαρμογές εκτός της θεωρητικής σφαίρας. Εβδομήντα χρόνια αργότερα με την έλευση των ημιαγωγών υλικών την δεκαετία του 1950 το φαινόμενο Hall βρήκε την θέση του στον κόσμο των εφαρμογών. Ωστόσο ο αριθμός των εφαρμογών περιορίστηκε ραγδαία λόγω του κόστους. Το 1965 οι Everett Vorthmann και Joe Maurin, ανώτεροι μηχανικοί στον κόσμο των εφαρμογών και αισθητήρων συνεργάστηκαν για να δημιουργήσουν έναν πρακτικό αισθητήρα στερεάς κατάστασης χαμηλού κόστους βασιζόμενοι στο

φαινόμενο Hall. Ο βασικός λόγος για την επιλογή του συγκεκριμένου φαινομένου (Hall effect) ήταν διότι θα μπορούσε να ενσωματωθεί πλήρως σε ένα μόνο τσιπ σιλικόνης. Αυτή η σημαντική ανακάλυψη είχε ως αποτέλεσμα την πρώτη χαμηλού κόστους, υψηλής έντασης εφαρμογή Hall. Έτσι λοιπόν ηλεκτρολόγια πραγματικής στερεάς κατάστασης σε αριθμό ενός δισεκατομμυρίου συσκευών και προϊόντα αισθητήρων έχουν παραχθεί από την MICRO SWITCH Sensing and Control.

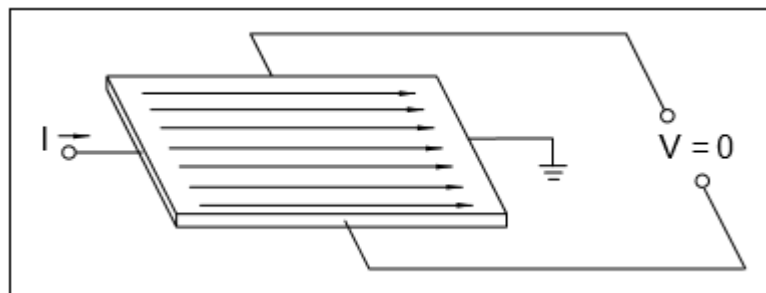
3.2 ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω με σκοπό να εμβαθύνουμε στην θεωρία του φαινομένου Hall πρέπει να θυμόμαστε ότι είναι αρχικά ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο βρίσκει εφαρμογή στον βιομηχανικό τομέα. Επιπλέον βασίζεται στην αρχή κίνησης ηλεκτρικών φορτίων διαμέσου ενός μαγνητικού πεδίου και τις δυνάμεις που συνεπάγονται σε αυτό.

3.2.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

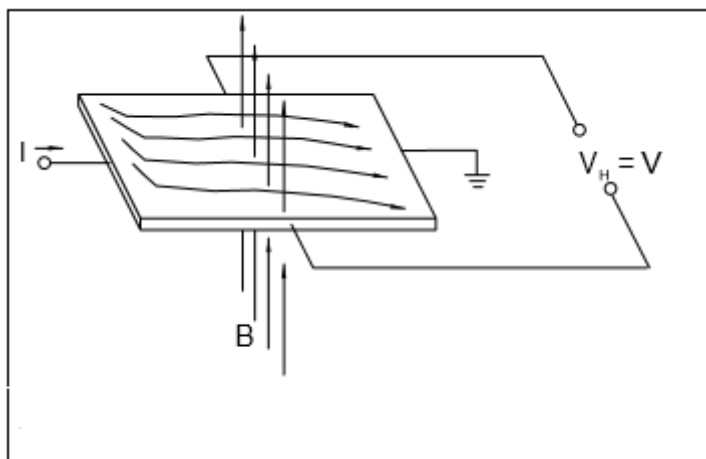
Όπως είχαμε αναφέρει όταν ένας αγωγός ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα τοποθετηθεί εντός μαγνητικού πεδίου δημιουργείται μια τάση κάθετη τόσο στο ρεύμα όσο και στο πεδίο. Αυτή είναι η αρχή του φαινομένου Hall.



Σχήμα 3.2 Αρχή φαινομένου Hall χωρίς μαγνητικό πεδίο

Στο σχήμα 3.2 παρατηρούμε ένα λεπτό φύλλο ημιαγωγού υλικού (στοιχείο Hall) μέσω του οποίου διέρχεται ρεύμα. Οι συνδέσεις εξόδου είναι κάθετες προς την κατεύθυνση του ρεύματος. Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε πως όταν το μαγνητικό πεδίο είναι μηδενικό υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή ρεύματος (σχήμα 3.2) και δεν παρατηρείται διαφορά δυναμικού στην έξοδο του κυκλώματος.

Αντίθετα όταν το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στην επιφάνεια του ημιαγωγού (σχήμα 3.3) ασκείται μια δύναμη Lorentz στο ρεύμα.

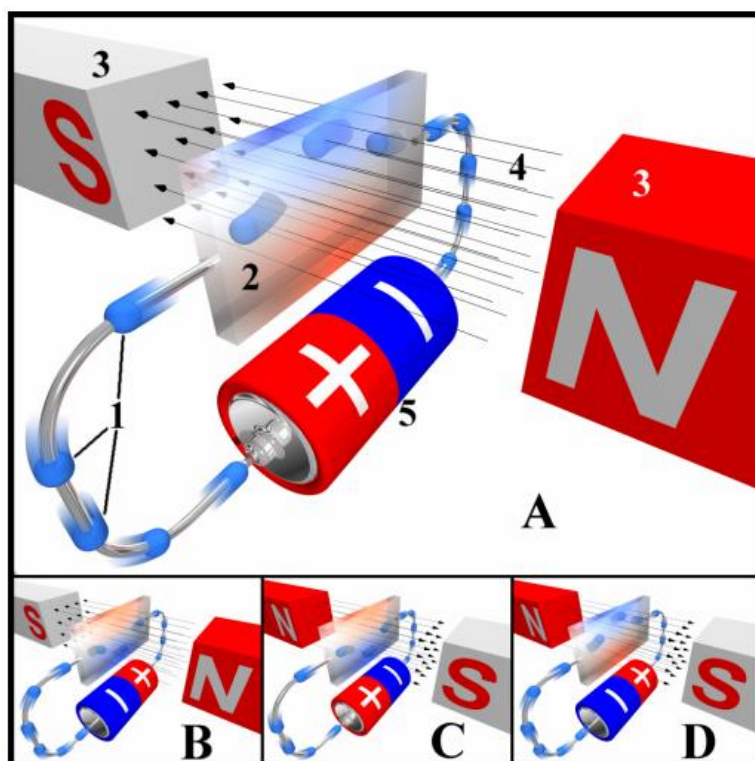


Σχήμα 3.3 Αρχή του φαινομένου με μαγνητικό πεδίο

Αυτή η δύναμη για την οποία θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στην συνέχεια διαταράσσει την τρέχουσα κατανομή με αποτέλεσμα η διαδρομή των φορτισμένων «σωματιδίων» (τυπικά, αλλά όχι πάντα, ηλεκτρόνια) να μετατρέπεται σε καμπύλη. Τα κινούμενα φορτία συγκεντρώνονται στη μια πλευρά του ημιαγωγού προκαλώντας τα ίσης ποσότητας και αντίθετης πολικότητας φορτία να βρίσκονται εκτεθειμένα στην αντίθετη πλευρά όπου δεν υπάρχει πληθώρα κινουμένων φορτίων. Αποτέλεσμα είναι η ασύμμετρη κατανομή πυκνότητας φορτίου κατά μήκος του στοιχείου Hall το οποίο είναι κάθετο και στην ίδια διαδρομή αλλά και στο εφαρμοσμένο μαγνητικό πεδίο. Ο διαχωρισμός των φορτίων δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο αντιτίθεται στη μετακίνηση περαιτέρω φόρτισης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά δυναμικού στην έξοδο του κυκλώματος. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι η τάση εξόδου Hall (V_H). Η μορφή της εξίσωσης που δείχνει την αλληλεπίδραση του μαγνητικού πεδίου και του ρεύματος φαίνεται στην εξίσωση 1.11

$$V_H \propto \mathbf{I} \times \mathbf{B} \quad (1.11)$$

Η τάση Hall είναι ανάλογη της συνέλιξης του ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου. Είναι της μορφής $7\mu\text{V}/\text{Vs}/\text{gauss}$ στη πυρίτιο και έτσι απαιτείται ενίσχυση για συγκεκριμένες εφαρμογές.



Σχήμα 3.4 Hall effect

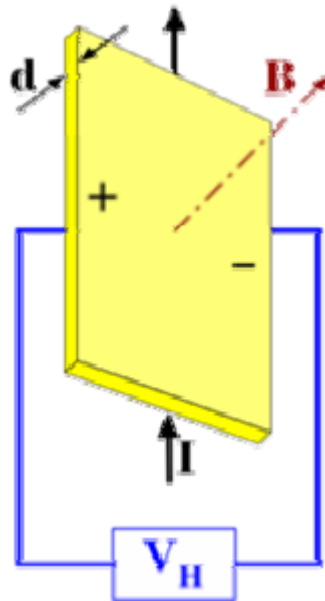
Για ένα απλό μέταλλο όπου υπάρχει μόνο ένας τύπος φορέων φορτίου (ηλεκτρόνια) η τάση Hall V_H δίνεται από την εξίσωση:

$$V_H = \frac{-IB/d}{ne} \quad (1.12)$$

Ενώ η σταθερά Hall δίνεται από την εξίσωση:

$$R_H = \frac{V_H}{IB/d} = -\frac{1}{ne} \quad (1.13)$$

Στο σχήμα 3.5 παρατηρούμε με σύμβολο B την μαγνητική πυκνότητα ροής, με I το ρεύμα κατά μήκος της πλάκας, με d το πάχος της πλάκας, e για το φορτίο των ηλεκτρονίων και n για την πυκνότητα φορτίου των ηλεκτρονίων. Αυτά τα μεγέθη μας υποδεικνύουν από τι εξαρτώνται η τάση Hall και η σταθερά Hall.



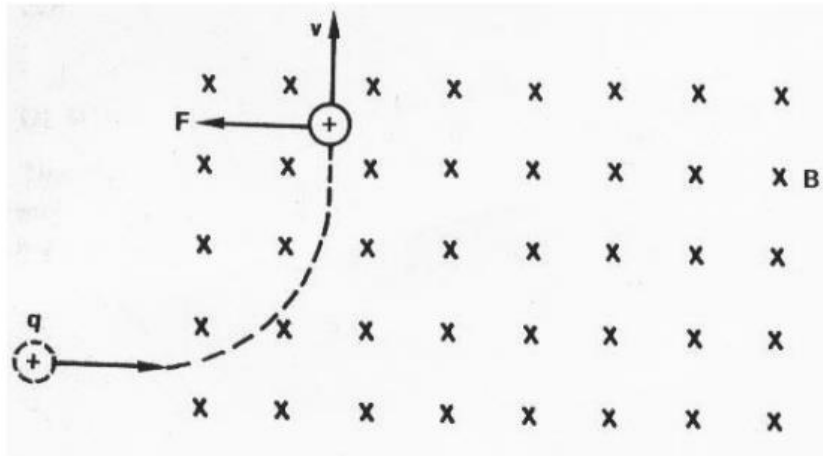
Σχήμα 3.5 Τάση V_H Hall

3.2.3 ΔΥΝΑΜΗ LORENTZ

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναφέρουμε τον ρόλο της δύναμης Lorentz στο φαινόμενο Hall. Όπως είχαμε αναφέρει παραπάνω η δύναμη Lorentz ευθύνεται για την ανακατανομή των φορτισμένων σωματιδίων και την αλλαγή της διαδρομής τους από ευθεία σε καμπύλη. Εξορισμού η δύναμη Lorentz στην φυσική αναφέρεται ως : η δύναμη που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το σωματίδιο θα αντιληφθεί τη δύναμη εξ αιτίας του ηλεκτρικού πεδίου qE , και εξ αιτίας του μαγνητικού πεδίου $qv \times B$. Ο συνδυασμός τους, δίνει την εξίσωση (ή το νόμο) της δύναμης Λόρεντζ:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.14)$$

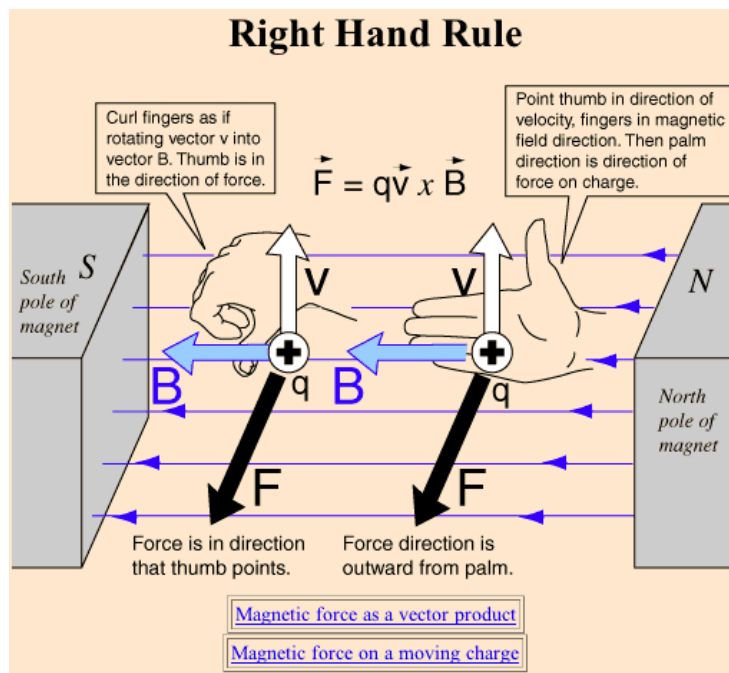
Αναλυτικότερα όπου F : δύναμη σε newton, q : το ηλεκτρικό φορτίο του σωματιδίου σε coulomb, E : το ηλεκτρικό πεδίο σε βολτ προς μέτρα, v : η στιγμιαία ταχύτητα του σωματιδίου σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα, B : το μαγνητικό πεδίο σε βέμπερς προς μέτρα στο τετράγωνο και τέλος \times είναι το εξωτερικό γινόμενο.



Σχήμα 3.6 Δύναμη Lorentz

Στο σχήμα 3.6 φαίνεται ότι αναφέραμε παραπάνω. Όταν σε ένα μαγνητικό πεδίο με ροή έντασης B εισέρχεται ένα θετικά φορτισμένο ($+q$) σωματίδιο τότε του ασκείται μια δύναμη Lorentz.

Κατά συνέπεια, ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο θα επιταχυνθεί στην ίδια διεύθυνση με το πεδίο E , αλλά η τροχιά του θα καμπυλωθεί κάθετα και στο πεδίο B και στο διάνυσμα της στιγμιαίας ταχύτητας v , σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού (σχήμα 3.7) εάν ο αντίχειρας του δεξιού χεριού δείχνει στη διεύθυνση του v και ο δείκτης στη διεύθυνση του B , τότε ο μέσος δείχνει τη διεύθυνση της δύναμης F .



Σχήμα 3.7 Κανόνας δεξιού χεριού

3.2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

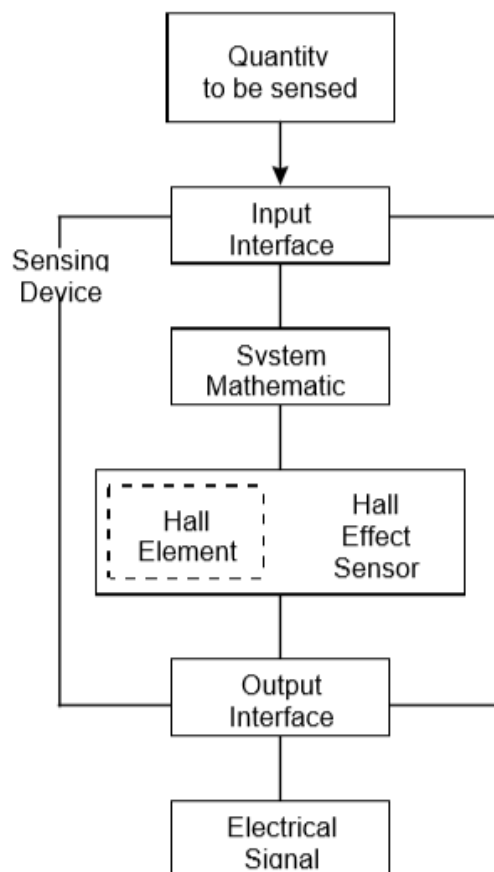
Τα συμπεράσματα λοιπόν τα οποία προκύπτουν από την μελέτη του φαινομένου είναι τα εξής:

- 1)Μας έδειξε ότι ειδικότερα στους ημιαγωγούς είναι σωστότερο να θεωρούμε το ρεύμα ως κινούμενες θετικές σπές παρά σαν αρνητικά ηλεκτρόνια.
- 2)Η απόδειξη ότι τα ηλεκτρικά ρεύματα στα μέταλλα μεταφέρονται από κινούμενα ηλεκτρόνια και όχι από πρωτόνια.
- 3)Ένα χαρακτηριστικό του φαινομένου είναι η διαφοροποίηση του σχετικά με την κίνηση των φορτίων.
- 4)Αποτελεί ένα μέσο για την μέτρηση μαγνητικών πεδίων και πυκνότητας των φορέων. Για την συγκεκριμένη δυνατότητα χρησιμοποιήσαμε και έναν αισθητήρα βασισμένο σε αυτό το φαινόμενο ώστε να τεθεί επιτυχώς ο κατασκευαστικός στόχος της παρούσας πτυχιακής.
- 5)Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι συνάρτηση της μαγνητικής επαγωγής του ρεύματος το οποίο διαρρέει τον αγωγό.
- 6)Το φαινόμενο Hall είναι ένας μηχανισμός μεταφοράς ιόντων ο οποίος εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού του ημιαγωγού.

3.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ HALL

3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το σημείο θα μιλήσουμε αναλυτικά για τους αισθητήρες και τις διάταξης που εμπεριέχουν ως αρχή λειτουργίας τους το φαινόμενο Hall. Από τα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτει ότι οι αισθητήρες οι οποίοι βασίζονται σε αυτό το φαινόμενο έχουν την δυνατότητα να εφαρμοστούν σε πολλούς τύπους συσκευών ανίχνευσης. Βασική προϋπόθεση είναι η ανιχνεύσιμη παράμετρος να ενσωματώνει ή να μπορεί να ενσωματώσει μαγνητικό πεδίο. Τότε ένας αισθητήρας Hall θα μπορεί να εκτελέσει την εργασία. Γενικότερα το φαινόμενο Hall είναι μια ιδανική τεχνολογία. Το στοιχείο Hall είναι κατασκευασμένο από ένα λεπτό φύλλο αγώγιμου υλικού με συνδέσεις εξόδου κάθετα προς την κατεύθυνση της ροής ρεύματος. Όταν υποβάλλεται σε μαγνητικό πεδίο, αποκρίνεται με τάση εξόδου ανάλογη με την ισχύ του μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο η τάση εξόδου είναι πολύ μικρή συνήθως της τάξεως των mV και απαιτεί πρόσθετα ηλεκτρονικά στοιχεία για την επίτευξη ανώτερων επιπέδων τάσεως ώστε να θεωρείται αξιοποιήσιμη. Ο συνδυασμός των επιμέρους στοιχείων του αισθητήρα (signal conditioning) με την καρδιά του, δηλαδή το ολοκληρωμένο κύκλωμα τσιπ που εμπεριέχει τον καθιστούν έναν αισθητήρα μαγνητικού πεδίου χρηστικό ως βασικό συστατικό για πολλούς τύπους συσκευών ανίχνευσης (ρεύμα, θερμοκρασία, πίεση, θέση κ.λπ.). Στο παρακάτω σχήμα 3.8 διακρίνουμε ένα μπλοκ διάγραμμα ροής το οποίο αντιστοιχεί σε μια συσκευή ανίχνευσης βασισμένη στο φαινόμενο Hall.



Σχήμα 3.8 Μπλοκ διάγραμμα αισθητήρα βασιζόμενο στο φαινόμενο Hall

Σε αυτήν τη γενικευμένη συσκευή ανίχνευσης, ο αισθητήρας Hall ανιχνεύει το πεδίο που παράγεται από το μαγνητικό σύστημα. Το μαγνητικό σύστημα ανταποκρίνεται στη φυσική ποσότητα που θα ανιχνευθεί (θερμοκρασία, πίεση, θέση κ.λπ.) μέσω της διεπαφής εισόδου. Η διεπαφή εξόδου μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα από τον αισθητήρα Hall σε σήμα που πληροί τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

3.3.2 Ο ΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΑΥΤΟ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΥΤΟ

Πριν αρχίσουμε να εμβαθύνουμε στην λειτουργία των αισθητήρων Hall τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά τα υλικά τους κτλ, ίσως πρέπει να απαντήσουμε στην κυριότερη ερώτηση. Γιατί να χρησιμοποιήσουμε την συγκεκριμένη κατηγορία αισθητήρων; Οι λόγοι για τη χρήση μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας ή ενός αισθητήρα ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Το κόστος, η απόδοση και η διαθεσιμότητα είναι πάντα ζητήματα αλλά και ένας αδιαμφισβήτητος μεγάλος παράγοντας. Τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη μιας δεδομένης τεχνολογίας είναι παράγοντες που πρέπει να σταθμίζονται αναλυτικά και σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής κατά τη λήψη αυτής της απόφασης. Επομένως θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε τα γενικά χαρακτηριστικά των συσκευών ανίχνευσης που βασίζονται στο φαινόμενο Hall. Είναι τα εξής:

- Σταθερή κατάσταση.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής .
- Λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες και συχνότητες (πάνω από 100 kHz).
- Λειτουργεί με σταθερή είσοδο.
- Απουσία από κινούμενα μέρη.
- Συμβατή είσοδος και έξοδος.
- Μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (-40 έως + 150 ° C).

3.3.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ HALL

Οι αισθητήρες τύπου Hall λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων τα οποία αναφέραμε και θα συνεχίσουμε να αναλύουμε, όπως η ευκολία χρήσης, το εύρος δυνατοτήτων τους στην ανίχνευση φυσικών ιδιοτήτων και πολλά άλλα, χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών. Όμως τα κριτήρια για την επιλογή του αισθητήρα σε κάθε εφαρμογή εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- το υλικό της βάσης Hall.
- Το εύρος θερμοκρασίας λειτουργείας
- την ευαισθησία
- την απόκριση συχνότητας
- την αντίσταση εισόδου αλλά και εξόδου
- το κόστος

3.3.4 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ HALL ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σε μια κατασκευή ενός αισθητήρα τα υλικά είναι πρώτιστης σημασίας , πόσο μάλλον σε διατάξεις οι οποίες αλληλοεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο. Παρακάτω αναφέρουμε λοιπόν τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι διατάξεις Hall:

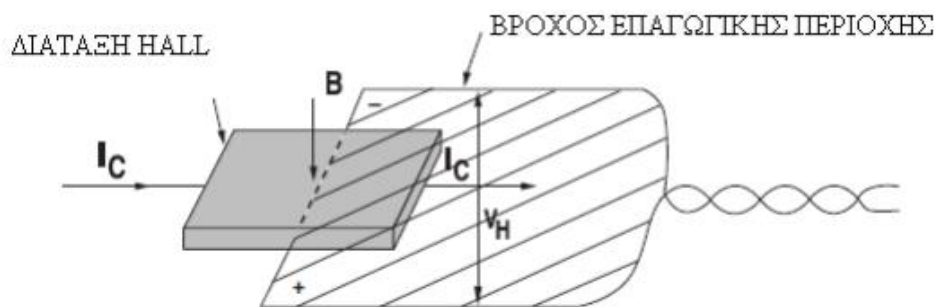
- Αντιμονιούχο ίνδιο (InSb)
- Αρσενιούχο ίνδιο (InAs)
- Αρσενιούχο γάλλιο (GaAs)

Αναλυτικότερα κάθε υλικό παρουσιάζει μια διαφοροποίηση στις τάσεις εξόδου, τον θόρυβο, την αντίσταση και την αντοχή στις διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας. Κατά σειρά γνωρίζουμε ότι οι διατάξεις που είναι κατασκευασμένες από αρσενιούχο γάλλιο παρουσιάζουν υψηλή έξοδο και πολύ μεγάλη αντίσταση με αποτέλεσμα να δημιουργούν υψηλό θόρυβο. Οι διατάξεις από Αντιμονιούχο ίνδιο παρουσιάζουν υψηλή έξοδο και χαμηλή αντίσταση ,ενώ οι διατάξεις από αρσενιούχο ίνδιο μπορεί να παρουσιάζουν μικρότερη έξοδο από αυτές με αντιμονιούχο ίνδιο, αλλά παρουσιάζουν και μικρή αντίσταση και μεταβολή σε σχέση με την θερμοκρασία. Τα παραπάνω καθιστούν το Αρσενιούχο ίνδιο (InAs) καταλληλότερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα υλικά για την πλειοψηφία των εφαρμογών. Ωστόσο οι διατάξεις από αρσενιούχο ίνδιο στην περίπτωση που κατασκευαστούν από εμποτισμένες λεπτές μεμβράνες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα χρηστικά σε διάφορες εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι οι χαμηλές απαιτήσεις σε ρεύμα για συγκρίσιμες τάσεις εξόδου αλλά και το χαμηλότερο κόστος. Επομένως όταν απαιτείται γραμμικότητα και σταθερότητα προτιμώνται.

3.3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ HALL

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα μιλήσουμε αναφορικά για τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των διατάξεων Hall, τα οποία είναι τα εξής:

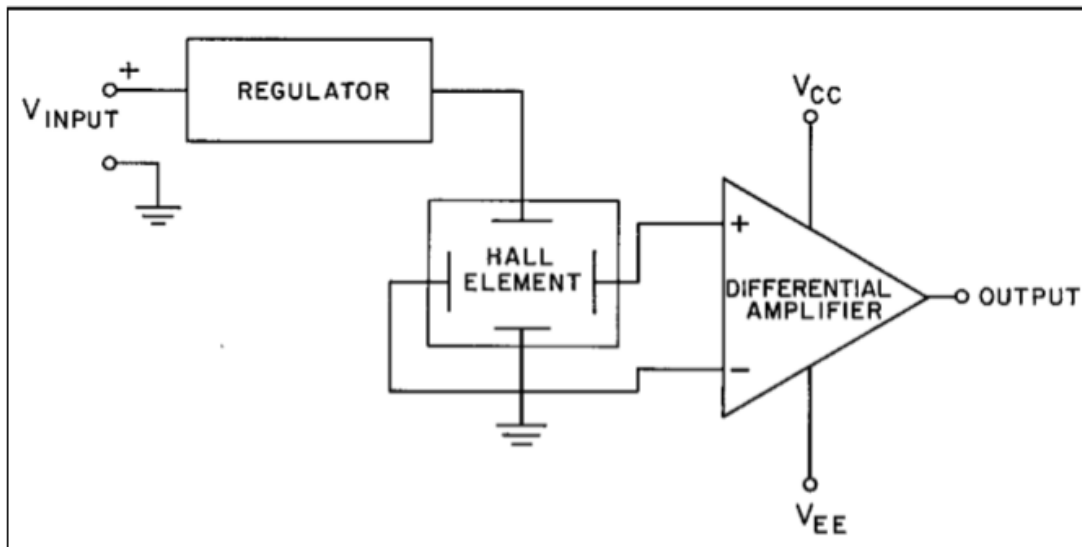
- Ονομαστικό ρεύμα ελέγχου I_C (mA)
- Μέγιστο ρεύμα
- Αντίσταση εισόδου εξόδου (Ω)
- Ευαισθησία (mV/makG)
- Τάση μηδενικού μαγνητικού πεδίου (mV)
- Γραμμικότητα (%)
- Σφάλμα παλινδρόμησης (%)
- Επαγωγική περιοχή (cm²)
- Μεταβολή της τάσης με την θερμοκρασία ($\mu\text{V}/\text{C}$)
- Μεταβολή μαγνητικής ευαισθησίας με την θερμοκρασία (%/C)
- Μεταβολή αντίστασης με την θερμοκρασία (%/C)



Σχήμα 3.9 Διάταξη Hall

3.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL

Το στοιχείο Hall είναι ο βασικός αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Όπως είχαμε προαναφέρει συνήθως απαιτείται ρύθμιση του σήματος για να είναι ωφέλιμη η τάση εξόδου. Τα επιπλέον ηλεκτρονικά μέρη απαιτούνται για την ενίσχυση του σήματος αλλά και την αντιστάθμιση της θερμοκρασίας.



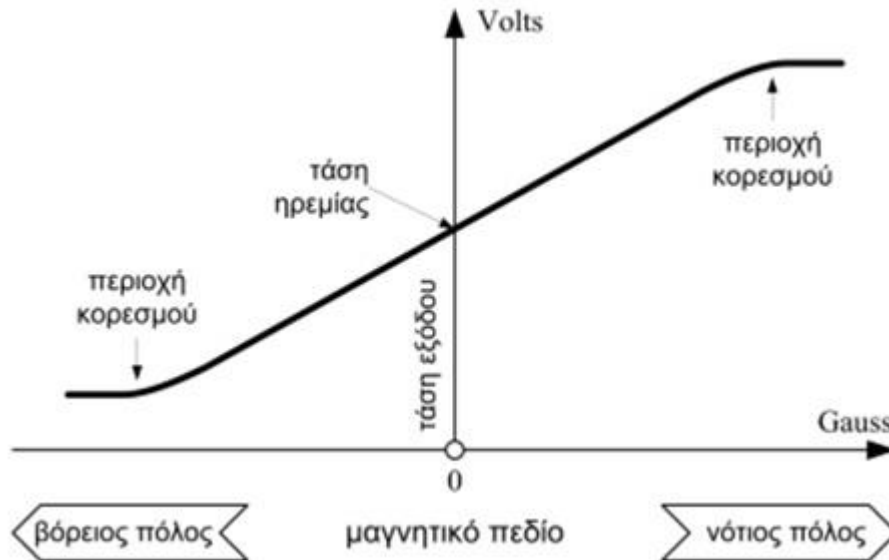
Σχήμα 3.10 Γενική διάταξη αισθητήρα φαινομένου Hall

Στο παραπάνω σχήμα 3.10 βλέπουμε έναν βασικό αισθητήρα Hall. Αν η τάση Hall μετρηθεί κατά τη διάρκεια απουσίας μαγνητικού πεδίου, τότε η έξοδος θα είναι μηδέν. Παρόλα αυτά, αν η τάση σε κάθε έξοδο μετρηθεί με αναφορά τη γείωση, μια μη μηδενική τάση θα εμφανιστεί. Αυτή λέγεται κοινού τύπου τάση (Common Mode Voltage CMV) και είναι η ίδια σε κάθε ακροδέκτη εξόδου. Μηδέν είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών. Ο ενισχυτής που φαίνεται στο σχήμα 3.10 πρέπει να είναι ένας διαφορικός ενισχυτής έτσι ώστε να ενισχύει μόνο τη διαφορά δυναμικού - την τάση Hall. Η τάση Hall είναι ένα σήμα χαμηλού επιπέδου της τάξης των 30 microvolts παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου ενός gauss. Αυτή η έξοδος χαμηλού επιπέδου απαιτεί ενισχυτή με χαμηλό θόρυβο, υψηλή αντίσταση εισόδου και μέτριο κέρδος. Στο στοιχείο Hall μπορεί να ενσωματωθεί ένας διαφορικός ενισχυτής με αυτά τα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας τυπική τεχνολογία διπολικών τρανζίστορ. Η αντιστάθμιση θερμοκρασίας ενσωματώνεται επίσης εύκολα. Η τάση Hall είναι συνάρτηση του ρεύματος εισόδου. Ο σκοπός του ρυθμιστή στο σχήμα 3.10 είναι να κρατήσει αυτήν την σταθερά ρεύματος έτσι ώστε η έξοδος του αισθητήρα να αντανακλά μόνο την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Καθώς πολλά συστήματα διαθέτουν ρυθμιζόμενη τροφοδοσία, ορισμένοι αισθητήρες εφέ Hall ενδέχεται να μην περιλαμβάνουν εσωτερικό ρυθμιστή.

3.4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΕΞΟΔΟ

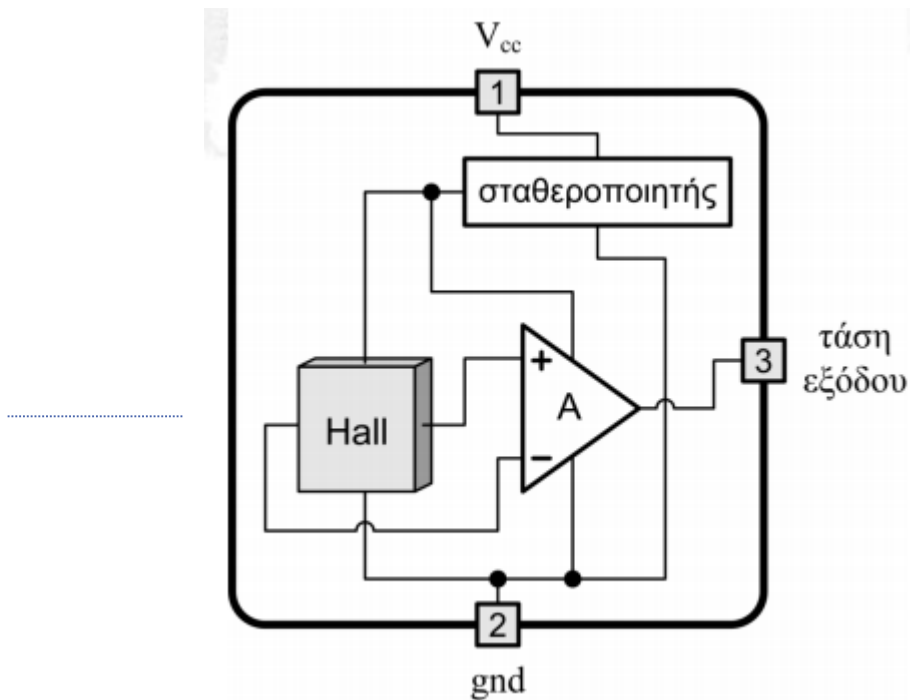
Όπως αναφέραμε στο παραπάνω σχήμα 3.10 βλέπουμε έναν αισθητήρα ο οποίος χαρακτηρίζεται ως μια βασική αναλογική συσκευή εξόδου. Οι αναλογικοί αισθητήρες παρέχουν τάση εξόδου ανάλογη με το μαγνητικό πεδίο στο οποίο εκτίθεται. Πρόκειται για μια πλήρη συσκευή στην οποία προστέθηκαν λειτουργίες κυκλώματος για την απλοποίηση της εφαρμογής. Το μαγνητικό πεδίο που αντιλαμβάνεται το αισθητήριο μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό. Ως αποτέλεσμα, η έξοδος του ενισχυτή θα είναι είτε θετική είτε αρνητική. Για την αποφυγή διπολικής τροφοδοσίας χρησιμοποιείται είτε μία σταθερή αντιστάθμιση είτε πόλωση του διαφορικού ενισχυτή. Η τιμή πόλωσης εμφανίζεται στην έξοδο όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο και αναφέρεται ως μηδενική τάση.

Όταν ανιχνεύεται θετικό μαγνητικό πεδίο, η έξοδος αυξάνεται πάνω από την μηδενική τάση. Αντίθετα, όταν ανιχνεύεται ένα αρνητικό μαγνητικό πεδίο, η έξοδος μειώνεται κάτω από την μηδενική τάση, αλλά παραμένει θετική.



Σχήμα 3.11 Μηδενική τάση

Η έξοδος του ενισχυτή δεν μπορεί να υπερβαίνει τα όρια που επιβάλλονται από την τροφοδοσία. Στην πραγματικότητα, πριν η τροφοδοσία φτάσει τα όρια της ο ενισχυτής θα έρθει σε κορεσμό. Στο παραπάνω σχήμα 3.11 φαίνεται αυτός ο κορεσμός. Να διευκρινίσουμε επίσης ότι ο κορεσμός λαμβάνει χώρα στον ενισχυτή και όχι στο στοιχείο Hall. Έτσι, τα μεγάλα μαγνητικά πεδία δεν θα βλάψουν τους αισθητήρες αλλά θα τους οδηγήσουν σε κορεσμό. Για να γίνει πιο ευρύ το φάσμα χρήσης της συσκευής, ένα τρανζίστορ push-pull ή ανοιχτού εκ πομπού ή ανοιχτού συλλέκτη μπορεί να προστεθεί στην έξοδο του διαφορικού ενισχυτή. Το σχήμα 3.12 δείχνει ένα πλήρη αισθητήρα Hall αναλογικής εξόδου που ενσωματώνει όλες τις λειτουργίες που συζητήθηκαν παραπάνω.



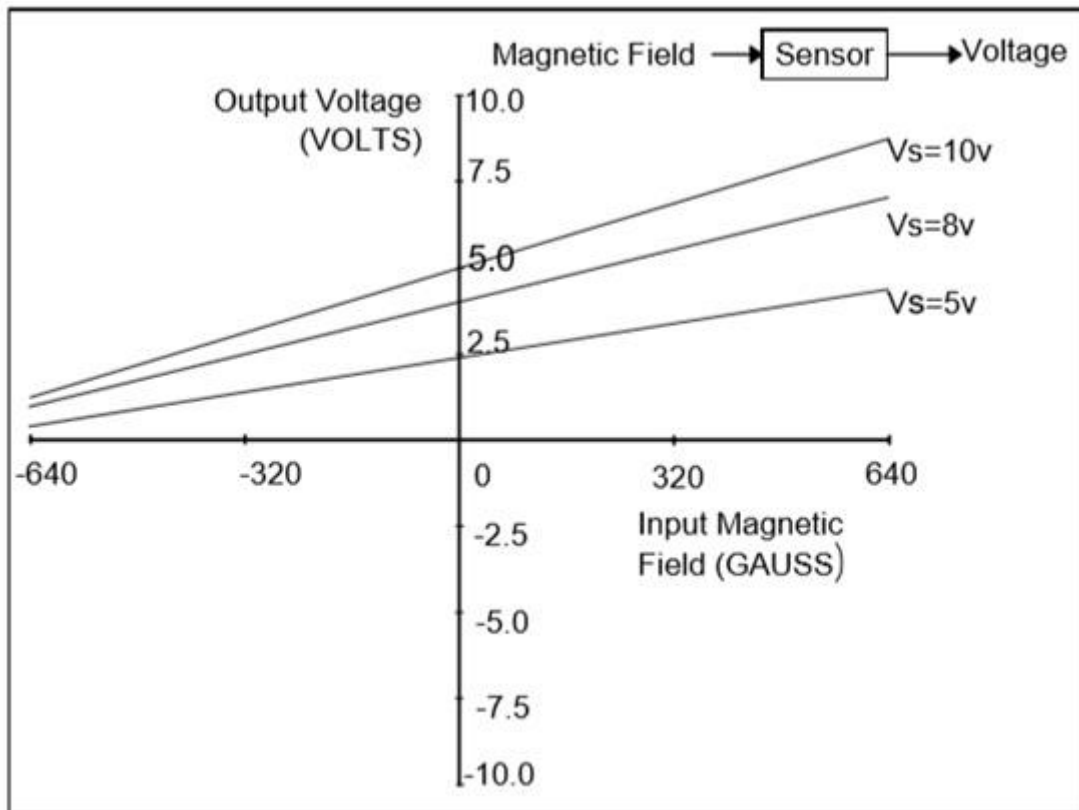
Σχήμα 3.12 Αισθητήρας Hall αναλογικής εξόδου

Χαρακτηριστικά εισόδου/ εξόδου

Οι αισθητήρες αναλογικής εξόδου διατίθενται με εύρη τάσης 4,5 έως 10,5, 4,5 έως 12 ή 6,6 έως 12,6 VDC. Συνήθως απαιτούν ρυθμιζόμενη τάση τροφοδοσίας για να λειτουργούν με ακρίβεια. Η έξοδος τους είναι συνήθως τύπου push-pull και είναι ανάλογη προς την τάση τροφοδοσίας σε σχέση με την αντιστάθμιση και το κέρδος. Το Σχήμα X απεικονίζει έναν αναλογικής εξόδου αισθητήρα που δέχεται παροχή 4,5 έως 10,5 V. Αυτός ο αισθητήρας έχει ευαισθησία (mV / Gauss) και αντιστάθμιση (V) ανάλογη (ratiometric) στην τάση τροφοδοσίας. Αυτή η συσκευή έχει λειτουργία «rail –to-rail». Δηλαδή, η έξοδος του κυμαίνεται από σχεδόν μηδέν (0,2 V τυπικό) έως σχεδόν την τάση τροφοδοσίας ($V_s - 0,2$ V τυπική).

Συνάρτηση μεταφοράς

Η συνάρτηση μεταφοράς περιγράφει σχέση εισόδου εξόδου μια συσκευής. Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να εκφραστεί είτε ως εξίσωση είτε σε γράφημα. Για αισθητήρες αναλογικής εξόδου Hall, η λειτουργία μεταφοράς εκφράζει τη σχέση μεταξύ εισόδου μαγνητικού πεδίου (gauss) και εξόδου τάσης. Η λειτουργία μεταφοράς για έναν τυπικό αισθητήρα αναλογικής εξόδου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13 Συνάρτηση μεταφοράς αναλογικής εξόδου

Και η παρακάτω εξίσωση 1.15 είναι μια προσέγγιση της μεταφοράς του.

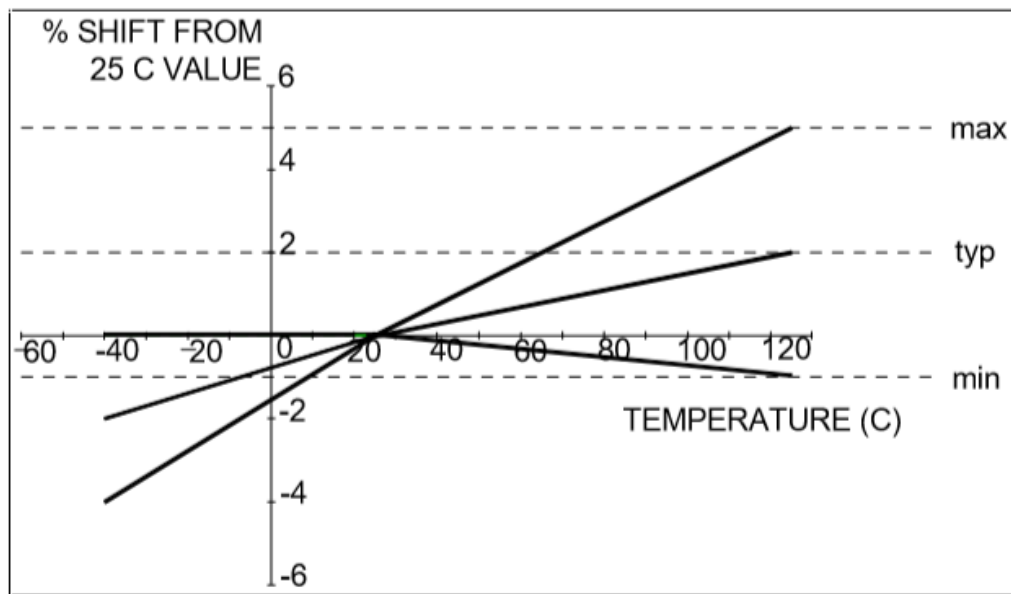
$$V_{\text{out}} (\text{Volts}) = (6.25 \times 10^{-4} \times V_s)B + (0.5 \times V_s) \quad (1.15)$$

$$-640 < B(\text{Gauss}) < +640$$

Η συνάρτηση μεταφοράς ενός αισθητήρα αναλογικής εξόδου χαρακτηρίζεται από την ευαισθησία, τη μηδενική μετατόπιση και το εύρος. Η ευαισθησία ορίζεται ως η αλλαγή στην έξοδο που προκύπτει από μια δεδομένη αλλαγή στην είσοδο. Η κλίση της λειτουργίας μεταφοράς που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.13 αντιστοιχεί στην ευαισθησία του αισθητήρα. Ο συντελεστής του $\{B (6,25 \times 10^{-4} \times V_s)\}$ στην εξίσωση 1.15 εκφράζει την ευαισθησία για αυτόν τον αισθητήρα. Η μηδενική μετατόπιση είναι η έξοδος από έναν αισθητήρα χωρίς διέγερση μαγνητικού πεδίου. Στην περίπτωση της συνάρτησης μεταφοράς στο Σχήμα 3.14, η μηδενική μετατόπιση είναι η τάση εξόδου στα μηδέν gauss με μια δεδομένη τάση τροφοδοσίας. Ο δεύτερος όρος στην εξίσωση 2-2, $(0,5 \times V_s)$, εκφράζει την μηδενική μετατόπιση. Το Span καθορίζει το εύρος εξόδου ενός αισθητήρα αναλογικής εξόδου. Span είναι η διαφορά στις τάσεις εξόδου όταν η είσοδος κυμαίνεται από αρνητικό gauss (βόρεια) έως θετικό gauss (νότια).

Αν και ένας αισθητήρας αναλογικής εξόδου θεωρείται γραμμικός σε σχέση με το εύρος του, στην πράξη, κανένας αισθητήρας δεν είναι απόλυτα γραμμικός. Η γραμμικότητα στις προδιαγραφές του

καθορίζει το μέγιστο σφάλμα που προκύπτει από την παραδοχή ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι ευθεία. Οι αισθητήρες αναλογικής γραμμικής εξόδου Hall είναι αισθητήρες ακριβείας που συνήθως εμφανίζουν γραμμικότητα που καθορίζεται από 0,5% έως -1,5% (ανάλογα με τη λίστα). Η γραμμικότητα για αυτές τις συσκευές μετράτε ως η διαφορά μεταξύ της πραγματικής εξόδου και της τέλει ευθείας γραμμής μεταξύ των τελικών σημείων. Δίνεται ως ποσοστό της έκτασης. Η βασική συσκευή Hall είναι ευαίσθητη στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Τα ηλεκτρονικά ρυθμιστικού σήματος μπορούν να ενσωματωθούν στους αισθητήρες εφέ Hall για να αντισταθμίσουν αυτά τα φαινόμενα. Το Σχήμα 3.14 απεικονίζει τη μετατόπιση ευαισθησίας σε θερμοκρασία για τον μικρομετρικό γραμμικό αισθητήρα γραμμικού εφέ Hall ενώ σε επόμενο κεφάλαιο θα δούμε και την γραμμικότητα του δικού μας αισθητήρα.

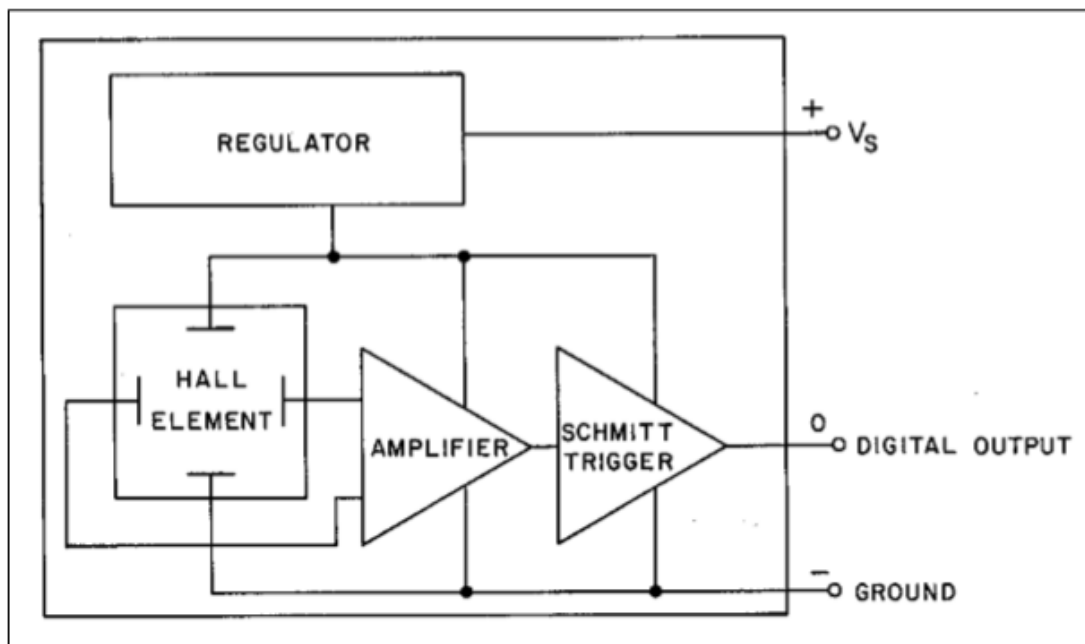


Σχήμα 3.14 Μετατόπιση ευαισθησίας σε σχέση με την θερμοκρασία

3.4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΞΟΔΟ

Η προηγούμενη συζήτηση περιέγραφε έναν αισθητήρα αναλογικής εξόδου ως μια συσκευή που έχει αναλογική έξοδο ανάλογη με την είσοδό της. Σε αυτήν την ενότητα, θα εξεταστεί ο ψηφιακός αισθητήρας φαινομένου Hall. Αυτός ο αισθητήρας έχει έξοδο που είναι μόνο μία από τις δύο καταστάσεις: ON ή OFF. Η βασική συσκευή αναλογικής εξόδου που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.12 μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό αισθητήρα εξόδου με την προσθήκη ενός κυκλώματος σκανδάλης Schmitt. Το σχήμα 3.15 απεικονίζει έναν τυπικό εσωτερικό ρυθμιζόμενο αισθητήρα Hall ψηφιακής εξόδου.

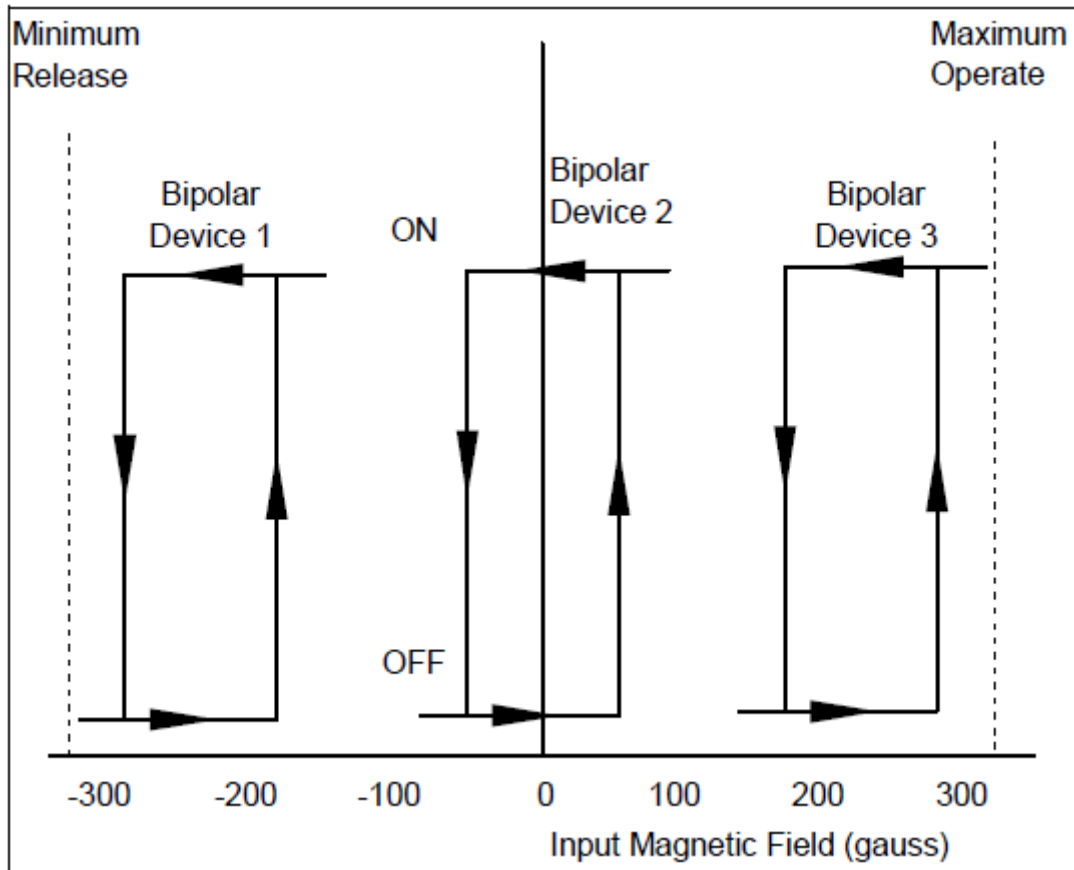
Ο σκανδαλιστής Schmitt συγκρίνει την έξοδο του διαφορικού ενισχυτή σχήμα 3.15 με την παρούσα τάση αναφοράς. Ο σκανδαλιστής Schmitt ενεργοποιείται Όταν η έξοδος του ενισχυτή ξεπεράσει την αναφορά. Αντίστοιχα η έξοδος του σκανδαλιστή γίνεται OFF όταν η έξοδος του ενισχυτή πέσει κάτω από το σημείο αναφορά. Για καλύτερη συμπεριφορά σε τυχόν σπινθήρες που μπορεί να παρουσιαστούν στο κύκλωμα Schmitt, εισάγεται υστέρηση. Αυτή η υστέρηση προκύπτει λόγω των δυο διαφορετικών τιμών αναφοράς, από τις οποίες εξαρτάται το άνοιγμα και το κλείσιμο του διακόπτη Schmitt.



Σχήμα 3.15 Αισθητήρας Hall ψηφιακής εξόδου

Συνάρτηση μεταφοράς

Στο παρακάτω σχήμα 3.16 εμφανίζεται η συνάρτηση μεταφοράς για έναν ψηφιακής εξόδου αισθητήρα τύπου Hall ο οποίος ενσωματώνει υστέρηση.



Σχήμα 3.16 Συνάρτηση μεταφοράς υστέρησης ψηφιακής εξόδου

Τα κύρια χαρακτηριστικά εισόδου / εξόδου είναι:

- Το σημείο λειτουργίας
- Το σημείο απελευθέρωσης
- Η μεταξύ τους διαφορά

Καθώς το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται, δεν θα υπάρξει αλλαγή στην έξοδο του αισθητήρα έως ότου επιτευχθεί το σημείο λειτουργίας. Μόλις επιτευχθεί το σημείο λειτουργίας, ο αισθητήρας θα αλλάξει κατάσταση. Περαιτέρω αυξήσεις της μαγνητικής εισόδου πέρα από το σημείο λειτουργίας δεν θα έχουν καμία επίδραση. Η έξοδος θα παραμείνει η ίδια εάν το μαγνητικό πεδίο μειωθεί κάτω από το σημείο λειτουργίας, έως ότου επιτευχθεί το σημείο απελευθέρωσης. Σε αυτό το σημείο, η έξοδος του αισθητήρα θα επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση (OFF). Ο σκοπός της διαφοράς μεταξύ του σημείου λειτουργίας και απελευθέρωσης (υστέρηση) είναι να εξαλειφθεί η ψευδή ενεργοποίηση που μπορεί να προκληθεί από μικρές διακυμάνσεις στην είσοδο. Όπως και με τους αναλογικούς αισθητήρες εξόδου Hall, προστίθεται ένα τρανζίστορ εξόδου για την αύξηση της ευελιξίας της εφαρμογής. Αυτό το τρανζίστορ εξόδου είναι συνήθως NPN (τρέχουσα βύθιση).

Χαρακτηριστικά τροφοδοσίας

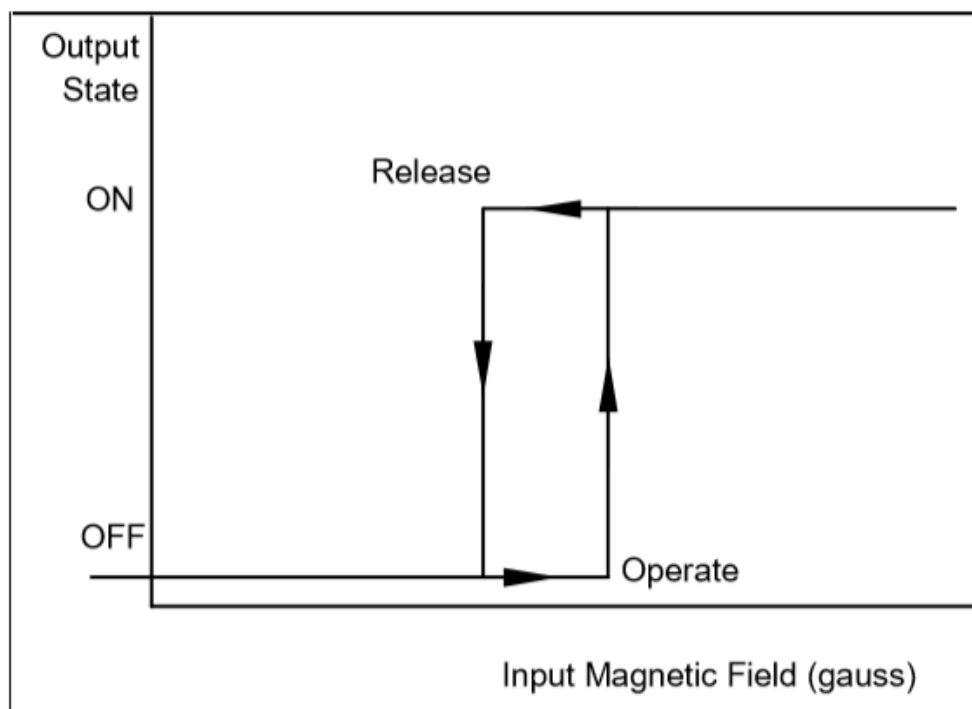
Οι αισθητήρες ψηφιακής εξόδου διατίθενται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες τροφοδοσίας τις ρυθμιζόμενες και μη ρυθμισμένες. Οι περισσότεροι αισθητήρες αυτού του τύπου Hall είναι ρυθμισμένοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τροφοδοτικά από 3,8 έως 24 VDC. Οι μη

ρυθμιζόμενοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές. Απαιτούν ρυθμιζόμενη παροχή DC 4,5 έως 5,5 βολτ ($5 \pm 0,5$ v). Οι αισθητήρες που ενσωματώνουν εσωτερικούς ρυθμιστές προορίζονται για εφαρμογές γενικού σκοπού. Μη ρυθμιζόμενοι αισθητήρες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με λογικά κυκλώματα όπου υπάρχει ρυθμιζόμενη τροφοδοσία 5 volt.

Χαρακτηριστικά εισόδου

Τα χαρακτηριστικά εισόδου ενός αισθητήρα ψηφιακής εξόδου ορίζονται ως:

- σημείο λειτουργίας.
- σημείο απελευθέρωσης
- και διαφορικό.



Σχήμα 3.16 Συνάρτηση μεταφοράς υστέρησης ψηφιακής εισόδου

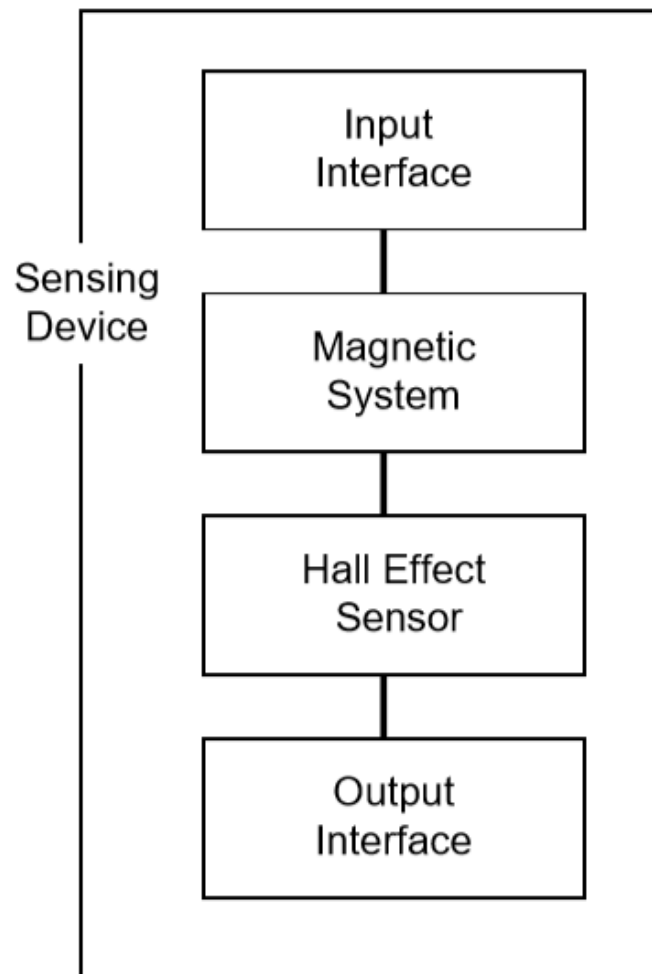
Δεδομένου ότι αυτά τα χαρακτηριστικά αλλάζουν από θερμοκρασία σε θερμοκρασία και από αισθητήρα σε αισθητήρα, καθορίζονται σε όρους μέγιστων και ελάχιστων τιμών. Το Μέγιστο Σημείο Λειτουργίας αναφέρεται στο επίπεδο του μαγνητικού πεδίου που θα διασφαλίσει ότι ο αισθητήρας ψηφιακής εξόδου θα ανάψει σε οποιαδήποτε ονομαστική κατάσταση. Το ελάχιστο σημείο απελευθέρωσης αναφέρεται στο επίπεδο μαγνητικού πεδίου που εξασφαλίζει ότι ο αισθητήρας είναι απενεργοποιημένος. Το σχήμα 3.17 δείχνει τα χαρακτηριστικά εισόδου για έναν τυπικό μονοπολικό αισθητήρα ψηφιακής εξόδου. Ο αισθητήρας που εμφανίζεται αναφέρεται ως μονοπολικός, καθώς τόσο τα μέγιστα σημεία λειτουργίας όσο και τα ελάχιστα σημεία απελευθέρωσης είναι θετικά (δηλαδή νότιος πόλος μαγνητικού πεδίου). Ένας διπολικός αισθητήρας έχει ένα θετικό μέγιστο σημείο λειτουργίας (νότιος πόλος) και ένα αρνητικό ελάχιστο σημείο απελευθέρωσης (βόρειος πόλος). Οι λειτουργίες μεταφοράς απεικονίζονται στο σχήμα 3.16. Σημειώστε ότι υπάρχουν τρεις συνδυασμοί πραγματικών σημείων λειτουργίας και απελευθέρωσης με έναν διπολικό αισθητήρα.

Χαρακτηριστικά εξόδου

Τα χαρακτηριστικά εξόδου ενός αισθητήρα ψηφιακής εξόδου καθορίζονται ως τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τρανζίστορ εξόδου. Αυτά περιλαμβάνουν τύπο, μέγιστο ρεύμα, τάση κατάρρευσης, και χρόνο μανδάλωσης.

3.5 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL

Όσον αφορά τον σχεδιασμό συσκευών ανίχνευσης οι οποίοι βασίζονται στο φαινόμενο Hall Το Σχήμα 3.18 απεικονίζει τα λειτουργικά μπλοκ που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό αυτών των συσκευών.



Σχήμα 3.18 Μπλοκ διάγραμμα σχεδίασης αισθητήρα φαινομένου Hall

Ο σχεδιασμός οποιασδήποτε συσκευής ανίχνευσης που βασίζεται σε φαινόμενο Hall απαιτεί ένα μαγνητικό σύστημα ικανό να ανταποκρίνεται στη φυσική παράμετρο που ανιχνεύεται μέσω της δράσης της διεπαφής εισόδου. Η διεπαφή εισόδου μπορεί να είναι μηχανική (οι περισσότερες συσκευές ανίχνευσης) ή ηλεκτρικές (τρέχουσες συσκευές ανίχνευσης). Ο αισθητήρας Hall effect ανιχνεύει το μαγνητικό πεδίο και παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα. Η διεπαφή εξόδου μετατρέπει αυτό το ηλεκτρικό σήμα σε ένα που πληροί τις απαιτήσεις του συστήματος (εφαρμογή). Ο στόχος της

φάσης σχεδιασμού είναι να ορίσει καθένα από τα τέσσερα μπλοκ που αποτελούν τη συσκευή ανίχνευσης στο Σχήμα 3.17 Στη συνέχεια, προσδιορίζουμε όλα τα εξαρτήματα και τις προδιαγραφές, την τοποθέτηση, τη διασύνδεση και τη διασύνδεση αυτών των μπλοκ μεταξύ τους και με το σύστημα. Δεν απαιτεί κάθε συσκευή ανίχνευσης με βάση το εφέ Hall και τα τέσσερα λειτουργικά μπλοκ. Ένας αισθητήρας μαγνητικού πεδίου, για παράδειγμα, δεν απαιτεί μαγνητικό σύστημα ή διεπαφή εισόδου. Άλλες συσκευές ανίχνευσης έχουν το μαγνητικό σύστημα ήδη ενσωματωμένο σε ένα πακέτο με το τσιπ του αισθητήρα. Η φάση του σχεδιασμού είναι κάπως απλοποιημένη για αυτές τις περιπτώσεις, αλλά ο στόχος παραμένει ο ίδιος. Η φάση σχεδιασμού ξεκινά με τη θεμελιώδη ιδέα που επιλέγεται. Στη συνέχεια, ορίζονται οι λεπτομέρειες, οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις για την εφαρμογή. Αυτή είναι η φάση καθορισμού του συστήματος. Καθορίζονται οι αρχικές διαμορφώσεις και οι προδιαγραφές για τη συσκευή ανίχνευσης. Οι διακριτές συσκευές ανίχνευσης και τα πακέτα συσκευών ανίχνευσης θα αντιμετωπίζονται ξεχωριστά, ξεκινώντας με τον ορισμό της έννοιας. Η προσέγγιση στην σχεδίαση χωρίζεται σε ψηφιακή και γραμμική.

3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ HALL

Θεωρείται λοιπόν δεδομένο ότι σε κάθε εφαρμογή στην οποία μπορεί να συμπεριληφθεί μαγνητικό πεδίο, ένας αισθητήρας Hall μπορεί να φανεί χρήσιμος. Επομένως οι αισθητήρες Hall έχουν αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια ανάμεσα σε διάφορες εφαρμογές. Παρακάτω βλέπουμε διάφορα είδη αισθητήρων Hall.



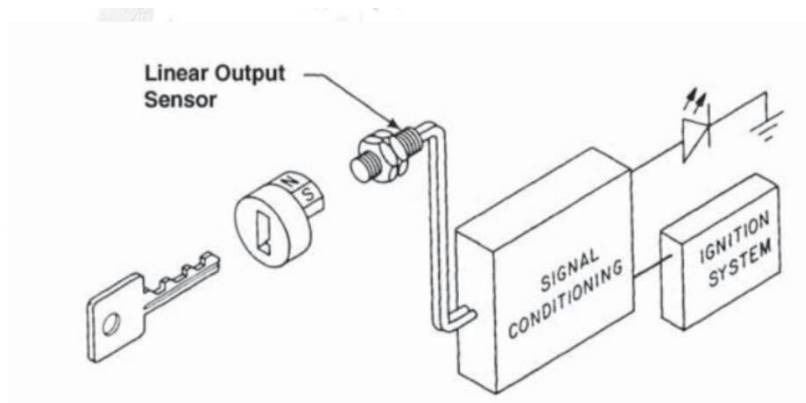
Σχήμα 3.19 Είδη αισθητήρων Hall

Κάποιες από τις εφαρμογές των αισθητήρων Hall είναι:

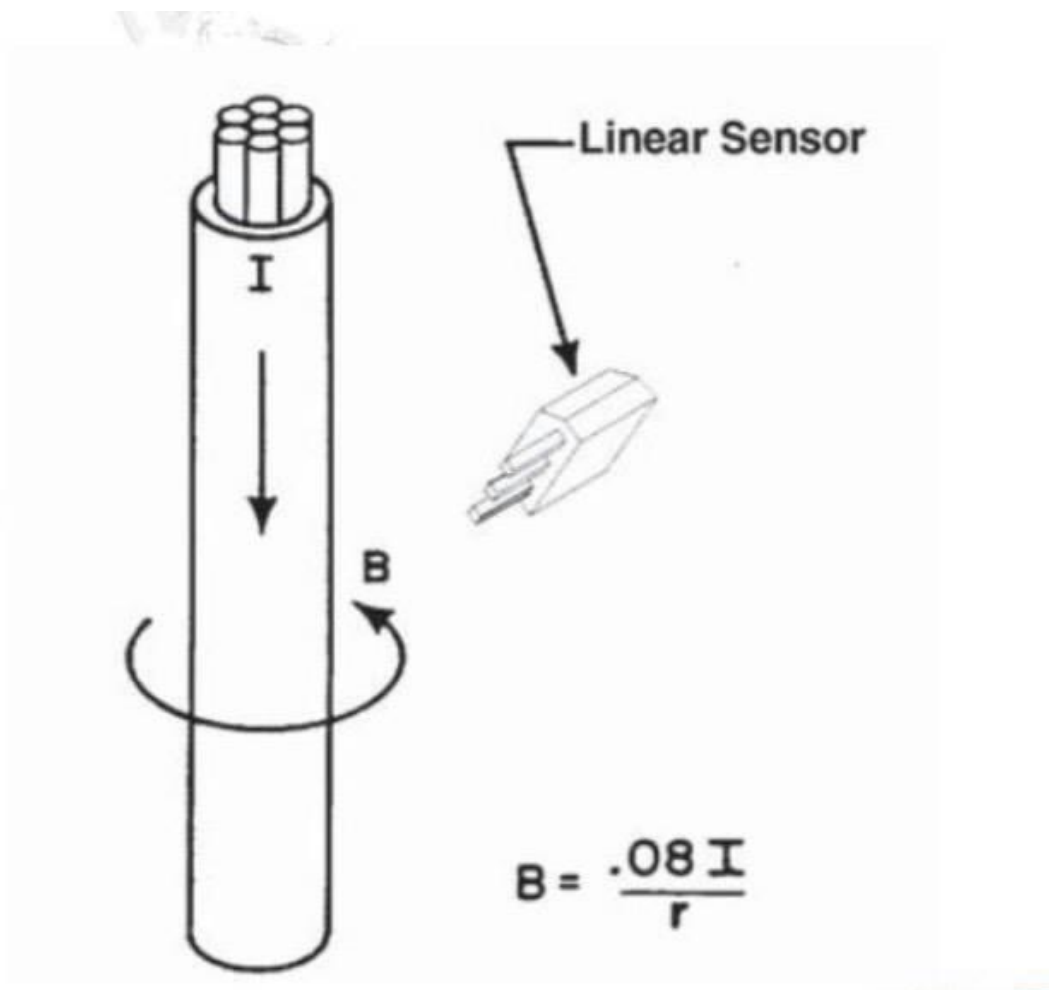
- Μετρήσεις μαγνητικού πεδίου
- Μετατροπή κίνησης σε τάση
- Μετρήσεις περιστροφικής ταχύτητας
- Μετρήσεις ηλεκτρικού ρεύματος

- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Αισθητήρες πίεσης
- Αισθητήρες απόστασης
- Μαγνητικές κάρτες
- Πυξίδες
- Μετρήσεις κενού αέρος

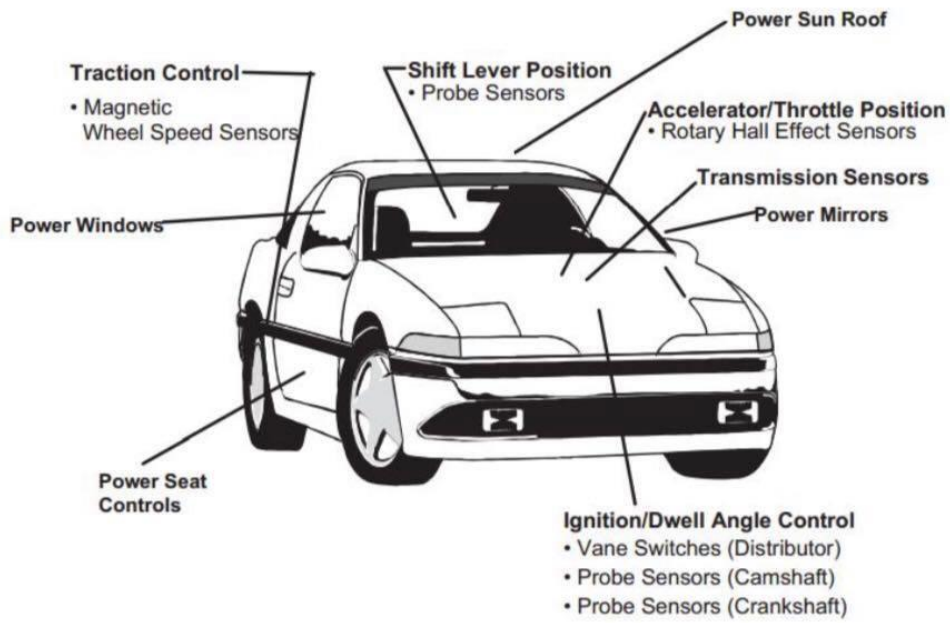
Και παρακάτω έχουμε ορισμένες εικόνες από την χρήση των αισθητήρων σε εφαρμογές.



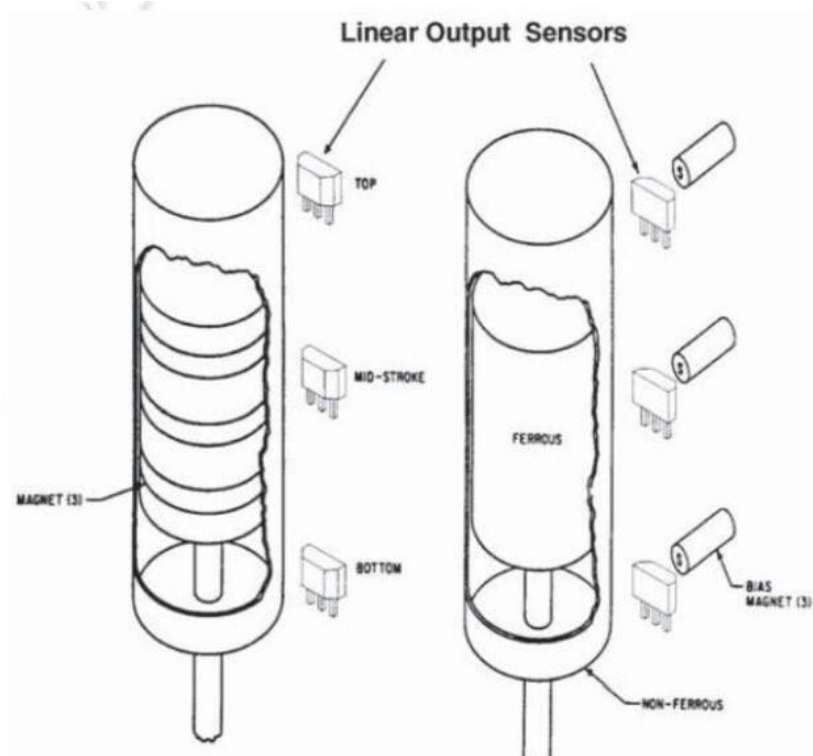
Σχήμα 3.20 Μαγνητική κλειδαριά



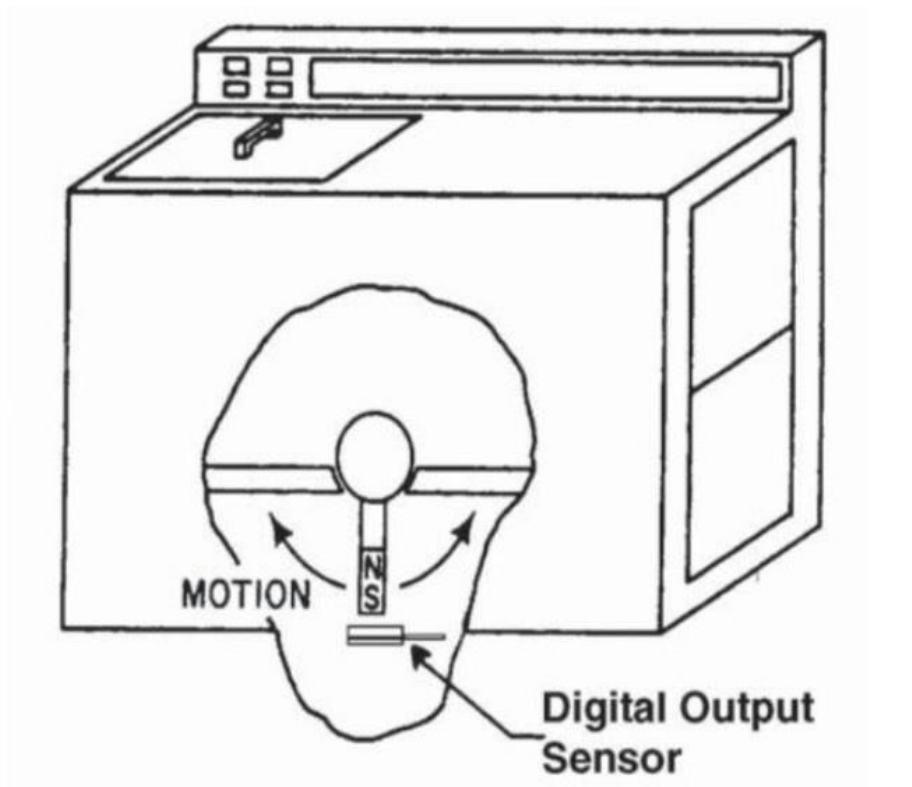
Σχήμα 3.21 Μέτρηση ρεύματος με Hall sensor



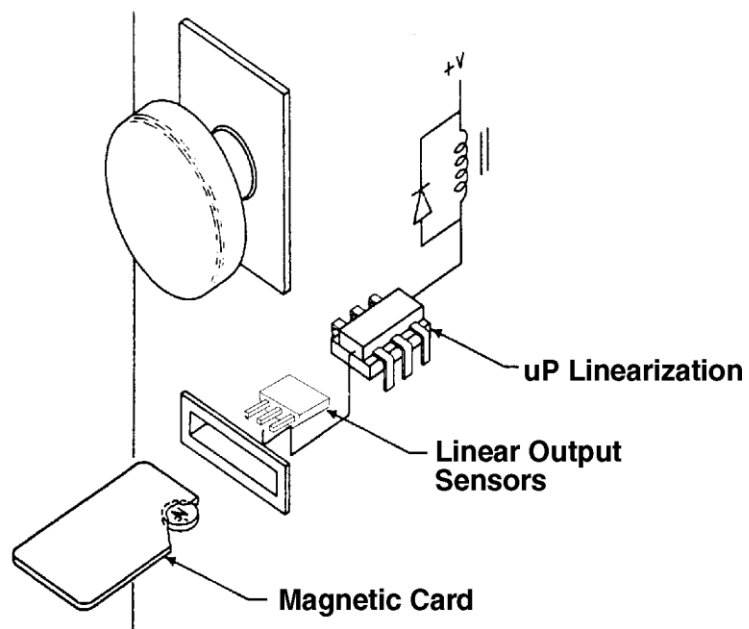
Σχήμα 3.22 Αισθητήρες Hall στην αυτοκινητοβιομηχανία



Σχήμα 3.23 Εντοπισμός θέσης πιστονίων



Σχήμα 3.24 Πλυντήριο με αισθητήρα Hall



Σχήμα 3.25 Ανάγνωση κάρτας σε κλειδαριά με μαγνητικό αισθητήρα

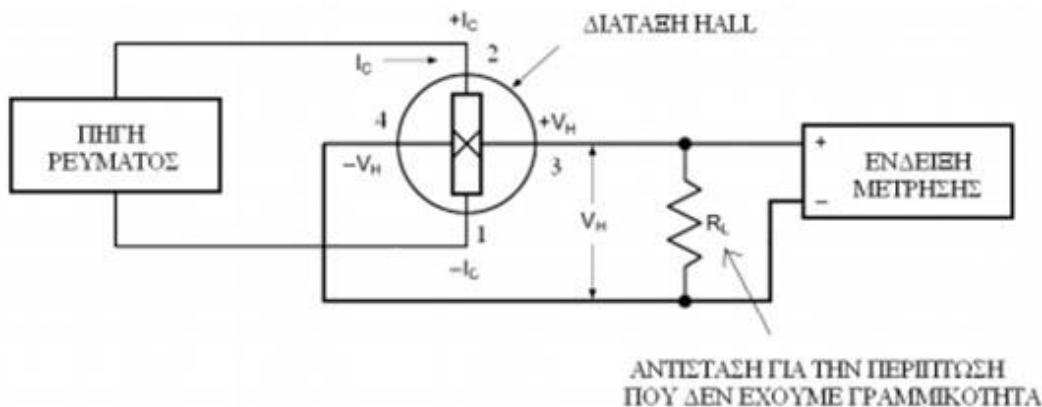
ΚΕΦΑΛΑΙΟ.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΓΗΤΙΚΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ HALL

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε το φαινόμενο του μαγνητισμού και εμβαθύναμε στο φαινόμενο Hall. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε γενικά για αυτές τις συσκευές τα μέρη ενός μαγνητόμετρου και τον τρόπο λειτουργίας του. Υπάρχουν διαφόρων ειδών συσκευές φορητές ή επιτραπέζιες οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με το εύρος πεδίου του μεγέθους. Η τιμή της εξόδου μπορεί να είναι ψηφιακή αλλά και αναλογική. Το εύρος εφαρμογών στα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεν τα καθιστά μόνο ερευνητικά και εκπαιδευτικά εργαλεία διότι πλέον εισέρχονται και στη βιομηχανική κοινότητα με σκοπό την βελτιστοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής. Το αποτέλεσμα είναι καλύτερη ποιότητα στα προϊόντα, αυτοματοποιημένες και αποδοτικότερες γραμμές παραγωγής.

4.2 ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ότι οι ακροδέκτες συνδέονται στην διάταξη Hall. Στην πραγματικότητα και οι τέσσερις συνδέονται στην πλάκα ημιαγωγού η οποία φέρει μια διαφορά δυναμικού. Επομένως είναι προφανές ότι η ένδειξη με την πηγή ρεύματος δεν πρέπει να έχουν κανένα κοινό σημείο. Η διάταξη Hall εσωτερικά θα καθορίσει τις δυνατότητες του οργάνου. Η διάταξη αυτή η αλλιώς η ημιαγωγός πλάκα (αισθητήρας) ονομάζεται ακροδέκτης διότι βρίσκεται συνήθως εντός σωλήνα αποτελούμενο από μη μαγνητικά υλικά.



Σχήμα 4.1 Διάταξη ενός απλού οργάνου

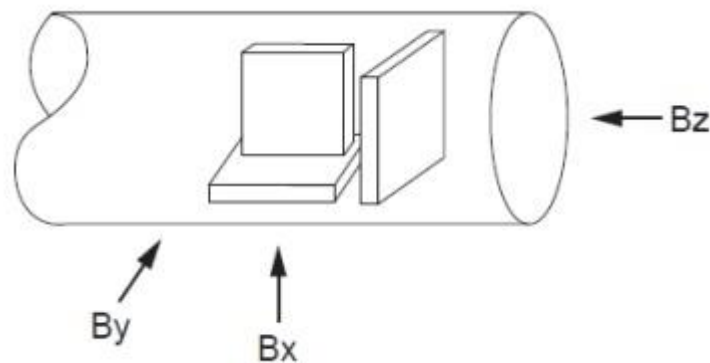
4.3 ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ HALL

Οι ακροδέκτες ενός μαγνητόμετρου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους αξονικούς και τους εγκάρσιους. Αυτό εξαρτάται από την διεύθυνση των δυναμικών γραμμών δια μέσου του ακροδέκτη. Παρακάτω βλέπουμε την διαφορά ανάμεσα στους δύο.



Σχήμα 4.2 Εγκάρσιοι και αξονικοί ακροδέκτες Hall

Τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένοι είναι συνήθως το αλουμίνιο, η εποξική ρητίνη, το ανοξείδωτο ατσάλι, η φαινόλη και πολλά ακόμα. Τα μήκη και πλάτυ ποικίλουν όπως και το συνολικό μήκος του καλωδίου το οποίο φτάνει έως και τα 30 μέτρα. Τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχουν και όργανα στα οποία είναι δυνατή η μέτρηση πεδίου σε 2 και 3 άξονες όπως φαίνεται το σχήμα 4.3.



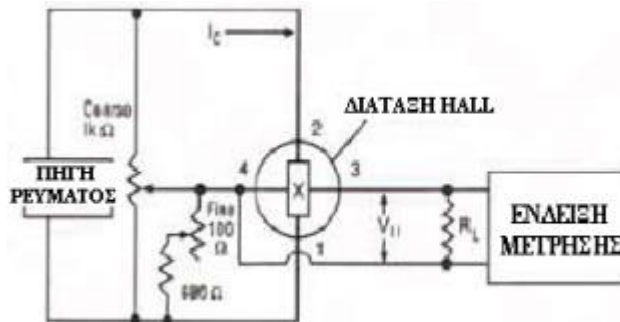
Σχήμα 4.3 Ακροδέκτης Hall τύπου 3-Axis

4.4 ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ένα σταθερό ρεύμα ελέγχου απαιτεί και μια πηγή σταθερού ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε τις επιδράσεις από την μεταβολή της αντίστασης λόγω θερμοκρασιών ή διακυμάνσεων του πεδίου. Το ρεύμα ελέγχου ανάλογος της μορφής του σήματος εξόδου μπορεί να είναι εναλλασσόμενο ή συνεχές.

4.5 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Στις εφαρμογές όπου η τάση εξόδου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα ρύθμισης της τάσης ώστε η τάση στο μηδενικό μαγνητικό πεδίο να είναι μηδέν. Τέτοιες εφαρμογές είναι εκείνες όπου το εύρος των μετρήσιμων μαγνητικών πεδίων είναι χαμηλό σε τάξη μεγέθους.



Σχήμα 4.4 Κύκλωμα ρύθμισης της τάσης μηδενικού πεδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΟΡΗΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

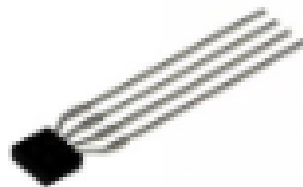
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από τέσσερα κεφάλαια αφιερωμένα στον μαγνητισμό, το φαινόμενο Hall, τα αισθητήρια όργανα τα οποία βασίστηκαν σε αυτά τα φυσικά φαινόμενα καθώς και πλήθος εφαρμογών ήρθε η στιγμή να προχωρήσουμε στην παρουσίαση της δικής μας φορητής συσκευής. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα υλικά του κυκλώματος, την συνδεσμολογία καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δικού μας φορητού οργάνου μέτρησης μαγνητικής επαγωγής.

5.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή μας σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε γύρω από τον αισθητήρα CYSJ902 καθώς το εύρος τιμής το οποίο έπρεπε να ανιχνεύει και να εμφανίζει είναι από 50mT έως 1T. Τον αισθητήρα μας πλαισιώνει ο Arduino nano η συσκευή η οποία είναι υπεύθυνη για την συλλογή και εξαγωγή των δεδομένων. Ο Arduino nano διαβάζει τα δεδομένα και μέσω του κώδικα τα εμφανίζει στην lcd οθόνη. Θα αναλύσουμε την λειτουργία του κυκλώματος περαιτέρω μετά τη παρών ενότητα. Τα υλικά κατασκευής είναι τα εξής:

1. Αισθητήρας Hall

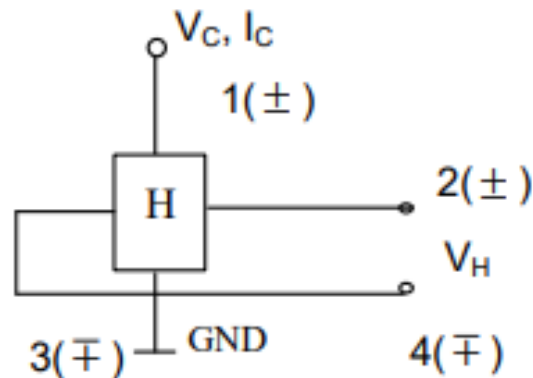


Σχήμα 5.1 Αισθητήρας Hall CYSJ902

Ο αισθητήρας ο οποίος προαναφέραμε είναι ο CYSJ902. Το στοιχείο Hall-effect της σειράς CYSJ902 είναι ένας αισθητήρας μαγνητικού πεδίου ion-implanted και κατασκευάζεται από ομάδα ημιαγωγών μονοκρυσταλλικού αρσενιδίου γαλλίου (GaAs) χρησιμοποιώντας τεχνολογία εμφύτευσης ιόντων. Μπορεί να μετατρέψει ένα μαγνητικό σήμα πυκνότητας ροής γραμμικά σε έξοδο τάσης. Έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υψηλή γραμμικότητα
- Εύρος μέτρησης: 2T
- Ευαισθησία: 0,72 ~ 1,06 mV / mT

- Αντίσταση εισόδου / εξόδου: 650 ~ 850 kΩ / 650 ~ 850kΩ
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ° C ~ + 125 ° C
- Γραμμικότητα: ± 1,0%
- Μέγιστο Ρεύμα / τάση τροφοδοσίας: 13 mA / 12 V
- Μικρό μέγεθος. Συσκευασία / Μέγεθος: SIP / 2,75x2,8x0,9mm
- Αντικαταστάτης των THS119, KSY14 και KSY44



Σχήμα 5.2 Μπλοκ διάγραμμα του αισθητήρα CYSJ902

2. Arduino nano

Ο arduino nano ο οποίος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα αποτελεί το 'μυαλό' της κατασκευής καθώς είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας βασισμένος στον ATmega328P. Προφέρει την ίδια συνδεσιμότητα και τις ίδιες προδιαγραφές με την πλακέτα Arduino υπο αλλά σε μικρότερη μορφή κάτι το οποίο ήταν απαραίτητο για την εργονομία της φορητής μας κατασκευής.



Σχήμα 5.3 Arduino Nano

Ο προγραμματισμός του έγινε στο περιβάλλον του Arduino IDE.

3. Οθόνη LCD

Η οθόνη που χρησιμοποιήθηκε είναι η lcd display 16X2 module hd44780. Είναι οθόνη με την τεχνολογία των υγρών κρυστάλλων και αποτελεί σύνθετο εργαλείο στην κατασκευή εφαρμογών με αισθητήρια και μικροελεγκτές.



Σχήμα 5.4 LCD display 16X2 module hd44780

4. Ρυθμιστής τάσης LM78S05

Ο LM78s05 ανήκει σε μια οικογένεια από αυτόνομα ολοκληρωμένα κυκλώματα ρύθμισης τάσης. Χρησιμοποιείται συνήθως σε ηλεκτρονικά κυκλώματα στα οποία αντικαθιστά το ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό. Έτσι επιτυγχάνεται χαμηλό κόστος αλλά και ευκολία χρήσης.



Σχήμα 5.5 Ρυθμιστής τάσης LM78S05

5. Πυκνωτές.

Οι πυκνωτές είναι ένα σύστημα δυο γειτονικών αγωγών στους οποίους ανάμεσα παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό. Έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο και να το αποδίδουν σε ένα κύκλωμα (αποφόρτιση). Δρουν έτσι ως πηγές ρεύματος. Οι πυκνωτές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η ύπαρξη πυκνωτών στο δικό μας κύκλωμα θα αναπτυχθεί στην ενότητα για την λειτουργία του κυκλώματος. Ενώ οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν χωρητικότητας 10uF και 0.1 uF αντίστοιχα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 5.6 Πυκνωτές

6. Δίοδοι

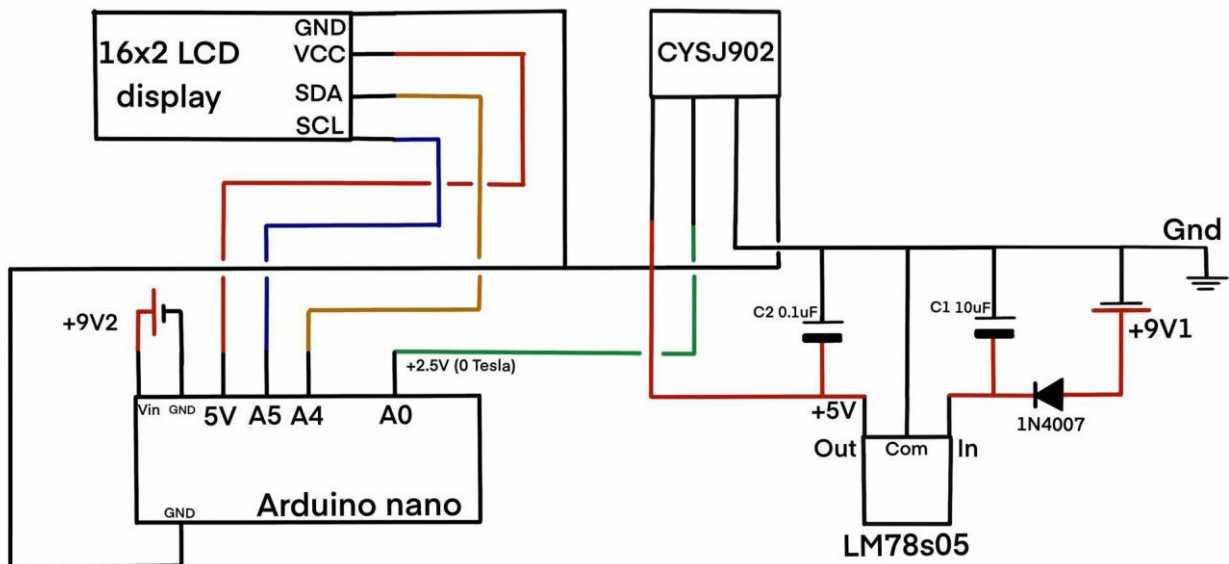
Η δίοδος είναι και αυτή αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Είναι ένα στοιχείο το οποίο περιορίζει την κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας. Στο κύκλωμα μας χρησιμοποιήθηκε η δίοδος ονόματι 1N4007 την εικόνα της οποίας βλέπουμε παρακάτω.



Σχήμα 5.7 Δίοδος 1N4007

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλύσουμε το τελικό κύκλωμα του φορητού οργάνου μέτρησης μαγνητικής επαγωγής. Θα εξηγήσουμε την συνδεσμολογία του και την ύπαρξη κάθε επιμέρους στοιχείου. Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω με την βοήθεια του διαδικτύου, των βιβλίων που διαθέταμε, των γνώσεων μας από την σχολή αλλά και την βοήθεια του καθηγητού μας καταλήξαμε στην υλοποίηση του παρακάτω κυκλώματος με όσα επιμέρους στοιχεία αναφέραμε παραπάνω.



Σχήμα 5.8 Συνδεσμολογία κυκλώματος

Η ανάλυση του κυκλώματος θα γίνει σταδιακά για κάθε ένα στοιχείο του.

1) Πηγές τάσεις

Στο τελικό κύκλωμα μας χρησιμοποιούμε δύο πηγές τάσεις της τάξεως των 9V. Οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να επιτύχουμε την φορητότητα καθώς το τελικό προϊόν λόγω μικρού μεγέθους μας επέτρεπε αυτή την δυνατότητα. Δύο πηγές τάσεις αντί για μια έχουμε για τον λόγο ότι όπως είχαμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο (4.2) οι ακροδέκτες συνδέονται στην διάταξη Hall. Δηλαδή το στοιχείο Hall έχει μια ορισμένη τάση κατά τη διαμήκη κατεύθυνση (στην περίπτωσή μας 5V). Η τάση Hall αγγίζεται μεταξύ των πλευρών. Εάν χρησιμοποιήσουμε το ίδιο GND λαμβάνουμε μια πολύ υψηλή τιμή μετατόπισης για την τάση Hall (περίπου 2,3 V, δηλαδή γύρω από $V_{cc} / 2$) και η ευαισθησία μειώνεται επίσης ξεκάθαρα. Εξ ου και οι δύο ξεχωριστές πηγές τάσης με το δικό τους διαφορετικό GND.

2) LM78s05

Η ύπαρξη δύο διαφορετικών πηγών ωστόσο μπορεί να είχε ως όφελος την φορητότητα και την σωστή λειτουργία του αισθητήρα παρόλα αυτά τα 9V στο άκρο τροφοδοσίας του αισθητήρα δεν είναι επιθυμητά σύμφωνα με το datasheet ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα ως προς την γραμμικότητα. Παρακάτω φαίνεται το πίνακας γραμμικότητας κάτω από συγκεκριμένη τροφοδοσία.

Πίνακας 5.1 Πίνακας γραμμικότητας

Measuring range	0-500mT	0-1000mT
Under supplying 5mA	-0.18% ~ 0.08%	-0.25% ~ 0.40%
Under supplying 5V	-0.25% ~ 0.45%	-1.15% ~ 0.70%

Ο ρόλος λοιπόν του LM78s05 ως ρυθμιστής τάσης είναι η μετατροπή των 9V της μπαταρίας σε 5V.

3) Δίοδος και πυκνωτές για ρυθμιστή τάσης

Οι περισσότεροι ρυθμιστές τάσης (ειδικά οι τύποι LDO) απαιτούν πυκνωτή στην έξοδο για σταθερότητα και συνήθως βελτιώνουν την παροδική απόκριση ακόμη και για ρυθμιστές όπως το 78s05 που μπορεί να μην το απαιτούν αυστηρά. Συνήθως απαιτείται πυκνωτής εισόδου για τη μείωση της σύνθετης αντίστασης πηγής. Αντίστοιχα οι δίοδος υπάρχει για να προστατεύει το εσωτερικό τρανζίστορ του LM78s05 σε περίπτωση μεγάλης φόρτισης του πυκνωτή εξόδου.

4) Αλληλεπίδραση αισθητήρα CYSJ902 με τον arduino nano

Εφόσον ο αισθητήρας μας τροφοδοτείται με την απαιτούμενη τάση των 5V στην έξοδο του (πράσινος σύνδεσμος) μας δίνει 2,5V. Η έξοδος του αισθητήρα μας συνδέεται με την αναλογική είσοδο του arduino nano A0, η οποία μετράτε χρησιμοποιώντας τη λειτουργία Arduino analogRead (). Μπορεί να λάβει τιμές που κυμαίνονται από 0 και 1023 για τις τιμές τάσης από 0 έως 5V αντίστοιχα. Δηλαδή με τη λήψη 0-1023 τιμών δείγματος για εύρος 0-5 Volts. Οι αναλογικές τιμές ανάγνωσης πολλαπλασιάζονται στη συνέχεια με ένα κλάσμα 5/1023 για να το μετατρέψουν σε εύρος τάσης 0 έως 5V.

Έπειτα λαμβάνοντας υπόψη τα datasheet του αισθητήρα και τον συσχετισμό των mV με mT (βλέπε πίνακα 5.2) μετατρέψαμε το ψηφιακό σήμα με την βοήθεια του κώδικα ώστε να έχουμε την αντίστοιχη ένδειξη στην μονάδα Τέσλα.

Πίνακας 5.2 Συσχετισμός mV με mT (Datasheet)

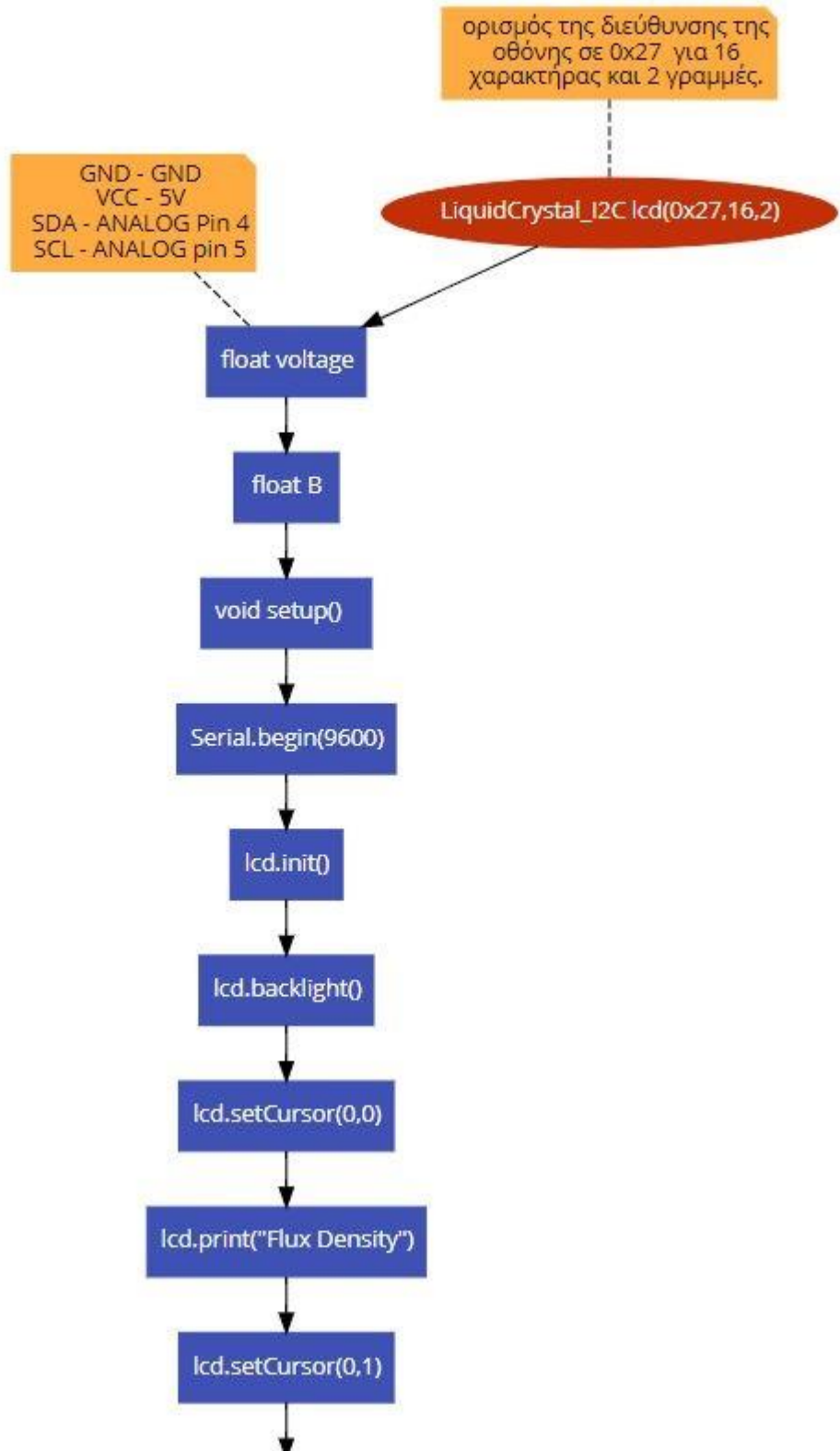
Hall output voltage	V_H	$B=50mT$	36~54	mV
---------------------	-------	----------	-------	----

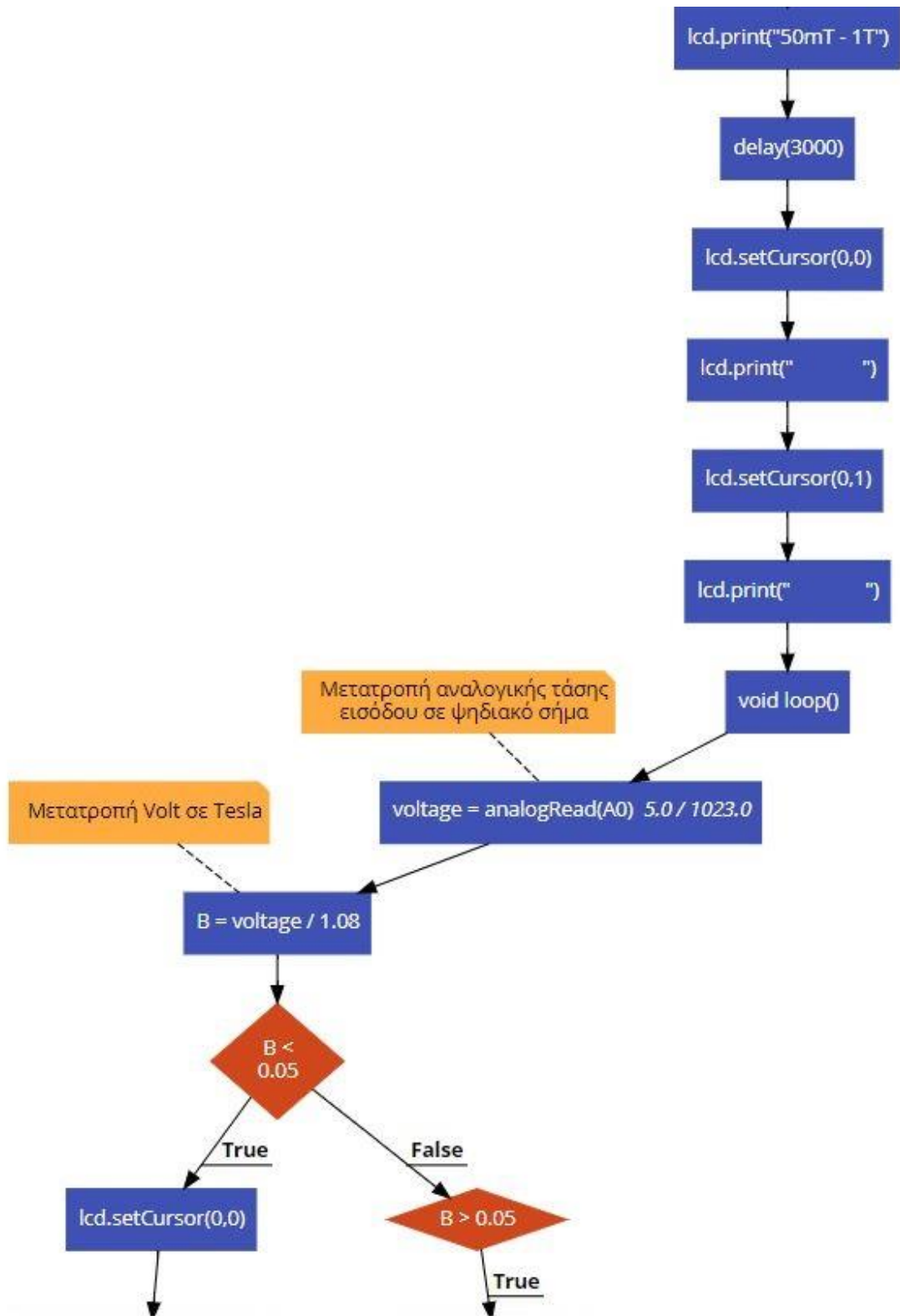
5) Εμφάνιση αποτελέσματος στην οθόνη

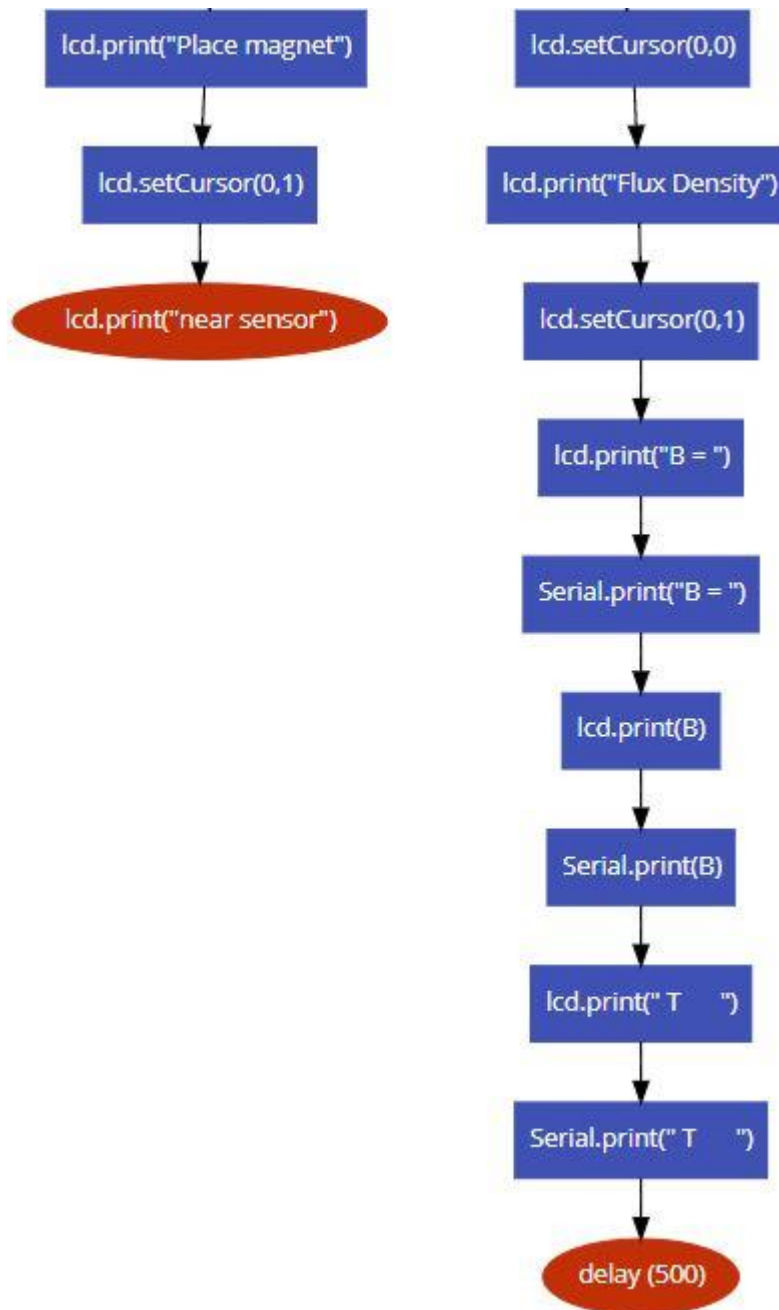
Με την προϋπόθεση ότι το σήμα εξόδου μας αντιστοιχεί μετά από όλη την επεξεργασία σε ρεαλιστικές μετρήσεις τελευταίο βήμα θα είναι η εμφάνιση του στη οθόνη LCD. Η LCD οθόνη 16X2 συνδέεται με τον μικροελεγκτή μέσω του πρωτοκόλλου I²C. Συνδέοντας την γραμμή ρολογιού SCL και την γραμμή δεδομένων SDA στα pins A4 και A5 του Arduino nano.

6) Κώδικας μικροελεγκτή

Ο κώδικας του μικροελεγκτή παρουσιάζεται αυτούσιος στο παράρτημα όπως επιβάλλει ο κανονισμός της πτυχιακής, παρακάτω μπορούμε να δούμε το διάγραμμα ροής του κώδικα. Μέσα στον κώδικα υπάρχουν σχόλια για την κατανόηση των εντολών.





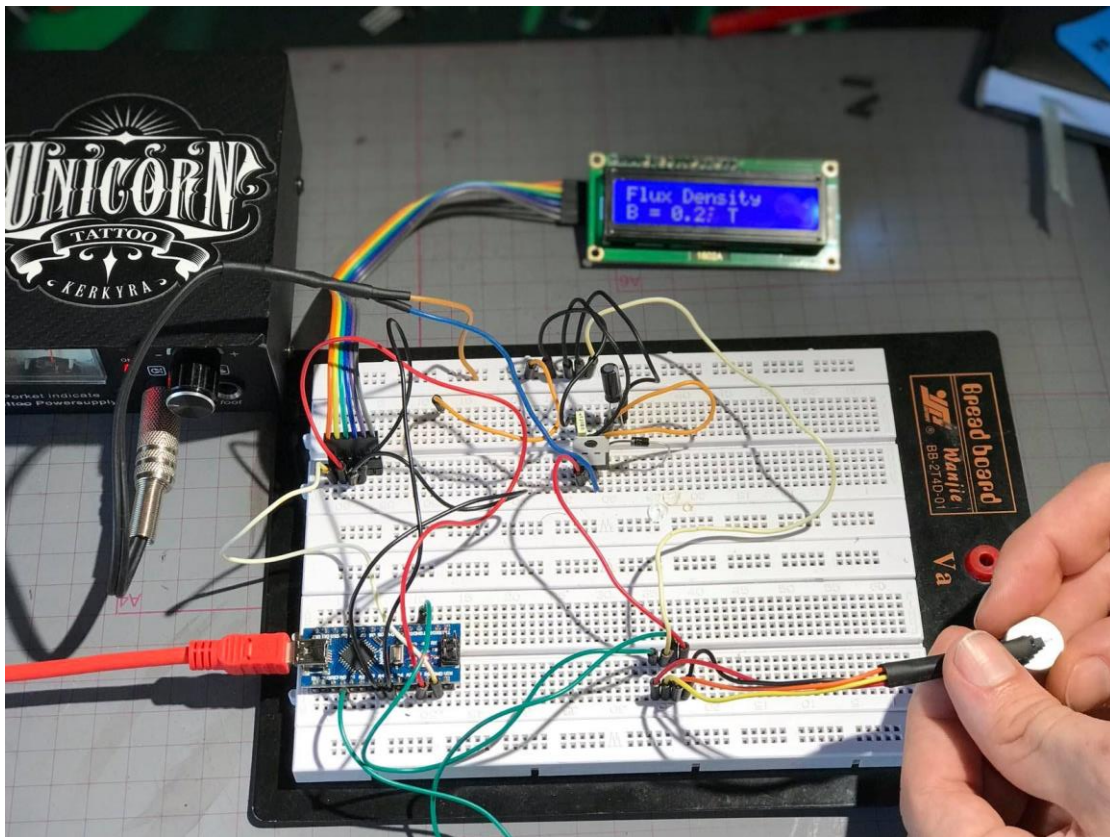


Σχήμα 5.9 Διάγραμμα ροής

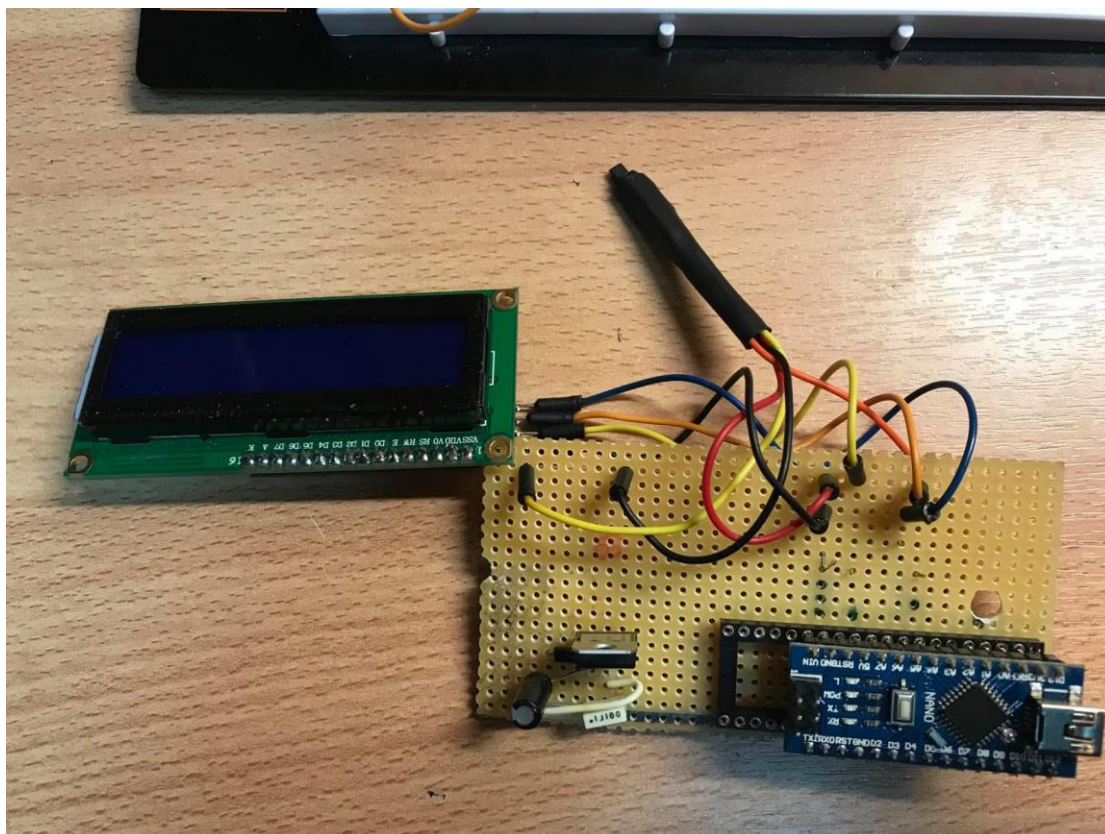
Πριν προχωρήσουμε στις μετρήσεις θα παραθέσουμε ορισμένες φωτογραφίες από τα στάδια κατασκευής.



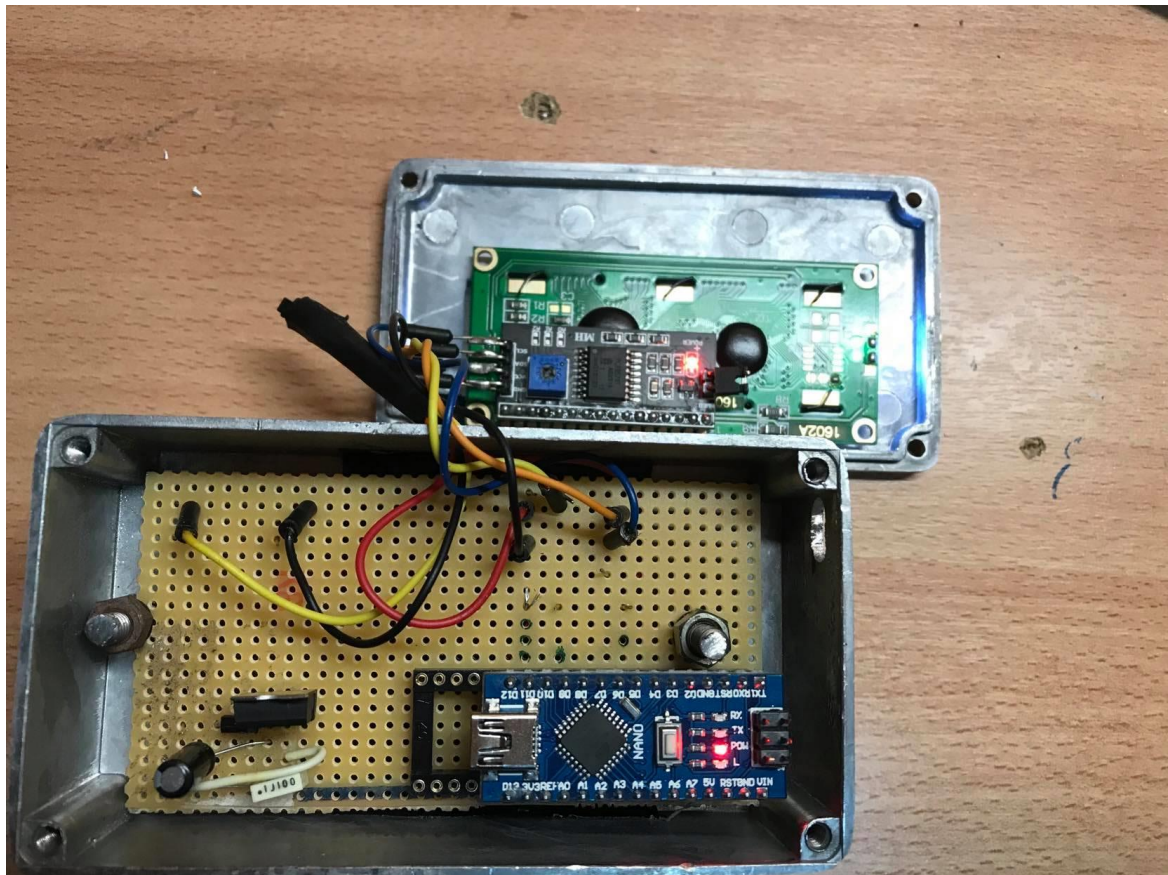
Σχήμα 5.10 Κατασκευή probe



Σχήμα 5.11 Προσομοίωση κυκλώματος σε breadboard



Σχήμα 5.12 Μεταφορά κυκλώματος σε πρωτότυπη πλακέτα PCB



Σχήμα 5.13 Ενσωμάτωση συσκευής στο πλαίσιο



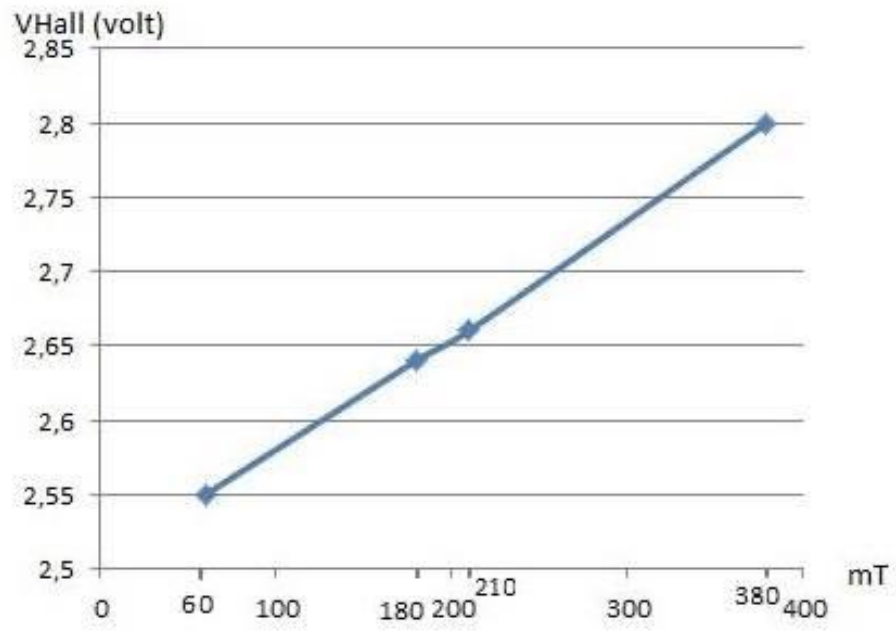
Σχήμα 5.14 Τελική μορφή κατασκευής

5.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Εφόσον έχουμε αναλύσει το κύκλωμα και τα επιμέρους στοιχεία θα προχωρήσουμε στις μετρήσεις. Παρακάτω παραβάλλεται ένας πίνακας στον οποίο παραθέτουμε τα αποτελέσματα μετρήσεων από μαγνήτες σε μονάδα τέσλα σε συνδυασμό με την τάση εξόδου του αισθητήρα και την μεταβολή της τάσης από μηδενικό μαγνητικό πεδίο εως 380mT. Η μεταβολή της τάσης βρέθηκε με ένα βολτόμετρο μετρώντας τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις ακίδες A0 και στη γείωση του Arduino.

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις (μεταξύ volt με tesla)

Μαγνήτης	Tesla (mt)	Μεταβολή Τάσης (mv)
Πρώτος	60	50
Δεύτερος	180	140
Τρίτος	210	160
Τέταρτος	380	300



Σχήμα 5.15 Μετρήσεις (μεταξύ volt με tesla)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ενότητα των μετρήσεων παρατηρούμε ότι για την μεταβολή της τάσης εξόδου του αισθητήρα από 2,50 V (μηδενικό μαγνητικό πεδίο) μέχρι την μέγιστη τάση 2,80V (μαγνητικό πεδίο 380 mT) η μεταβολή της τάσης είναι 300 mV. Γνωρίζοντας τις μεταβολές των τάσεων στο A0 από τον παραπάνω πίνακα για κάθε έναν μαγνήτη από τους τέσσερεις που μετρήθηκαν συμπεραίνουμε το εξής. Η συσκευή μας βρίσκεται εντός των ορίων μέγιστης ευαισθησίας τα οποία κυμαίνονται από 0.72 έως 1.06 (mV/mT). Το ακριβές νούμερο για εμάς βρίσκεται ανάμεσα στο 0.8 έως 0.84 (mV/mT) και αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα. Το συμπέρασμα είναι ότι η συσκευή μας έχει επιτύχει να βρίσκεται στα όρια ευαισθησίας του κατασκευαστή διαθέτοντας έτσι ένα μεγάλο εύρος μετρήσεων. Επιπλέον αυτό την καθιστά αξιοποιήσιμη ως προς άλλες εφαρμογές.

Ως προς τις ιδέες μας για νέες εφαρμογές ή βελτιώσεις πιστεύουμε πως στην καθημερινότητα μας ένα μαγνητόμετρο ίσως να μην έχει ιδιαίτερη αξία, παρόλα αυτά όπως είπαμε και σε προηγούμενα κεφάλαια οι αισθητήρες Hall μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε εφαρμογή αρκεί να εμπεριέχει το στοιχείο το μαγνητισμού. Με αλλαγές στον κώδικα και στην μορφολογία της συσκευής έχουμε έναν αξιόπιστο διακόπτη ο οποίος θα μπορεί να λειτουργεί ως αυτοματισμός μέσω του μικροελεγκτή. Έτσι θα εξυπηρετεί καθημερινές ανάγκες με μικρό κόστος κατασκευής και μεγάλη ακρίβεια.

- [1]: J. M. D. Coey, "Magnetism and Magnetic Materials", Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.
- [2]: Feynman P. Ritchard, Leighton B. Robert, Sands Matthew, "Οι διαλέξεις φυσικής (Δεύτερος τόμος)", Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑΣ, Θεσσαλονίκη 2009.
- [3]: Bartland, T., Caruso, M., Schneider, R., Smith, C., "A New Perspective on Magnetic Field Sensing", Nonvolatile Electronics, 1998.
- [4]: G.Y.Chin, J.H.Wenrick, "Soft magnetic metallic materials", Bell Laboratories Murray Hill, NJ 07974 USA.
- [5]: J. M. D. Coey, "Hard Magnetic Materials: A Perspective IEEE Transactions on Magnetics Vol. 47", 2011.
- [6]: A.E Mahdi, L.Panina, D.Mapps, "Some new horizon in magnetic sensing: high Tc, SQUIDs, GMR and GMI materials", Department of Communication and Electrical Engineering, University of Plymouth, Plymouth, Devon PL4 8AA, UK.
- [7]: Ripka, Pavel, "Magnetic Sensors and Magnetometers", Artech House Inc., 2001.
- [8]: J.W. Gardner, "Μικροαισθητήρες", Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2000.
- [9]: Laurent A. Francis, Kirill Poletkin, "Magnetic sensors and devices: Technologies and applications", CRC Press, 2017.
- [10] Honeywall, "Solutions for medical applications: sensors and switches".
- [11]: F. C. Paixao, Ann. Int. Conf. of the IEEE "Engineering in Medicine and Biology Society", Conference Proceedings, 2006, Vol. 2007, pp. 2948-2951.
- [12]: R. S. Popovic , Z. Randjelovic, D. Manic, "Integrated Hall-effect magnetic sensors", Department of Microengineering, EPFL, Swiss Federal Institute of Technology, CH-1015 Lausanne, Switzerland 2001.
- [13]: A. C. Beer, "The Hall effect and related phenomena", Battelle Memorial Institute, Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, USA 2002.
- [14]: Μ. Σπάσος, "Hall Effect", Σημειώσεις μαθήματος "αισθητήρια" του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // ορισμός της διεύθυνσης της οθόνης σε
0x27 για 16 χαρακτήρας και 2 γραμμές.

// GND - GND
// VCC - 5V
// SDA - ANALOG Pin 4
// SCL - ANALOG pin 5

float voltage;
float B;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Flux Density");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("50mT - 1T");

  delay(3000);

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" ");
}

void loop()
{
  voltage = analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0; // Μετατροπή αναλογικής τάσης
εισόδου σε ψηφιακό σήμα

  B = voltage / 1.08; // Μετατροπή Volt σε Tesla

  if( B < 0.05){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Place magnet");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("near sensor");
  }

  else if( B > 0.05){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Flux Density");
  }
}
```

```
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("B = ");  
Serial.print("B = ");  
lcd.print(B);  
Serial.print(B);  
lcd.print(" T ");  
Serial.print(" T ");  
  
delay (500);  
}  
}
```

Version 2
Released in October 2019
Dr.-Ing. habil. Jigou Liu



Chen Yang
Technologies GmbH & Co. KG

CYSJ902 GaAs Hall Effect Element

CYSJ902 series Hall-effect element is a ion-implanted magnetic field sensor made of mono-crystal gallium arsenide (GaAs) semiconductor material group III-V using ion-implanted technology. It can convert a magnetic flux density signal linearly into voltage output.

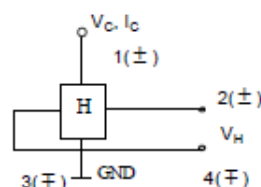
FEATURES

- High Linearity
- Superior Temperature Stability
- Miniature Package
- Replacements of THS119, KSY14 and KSY44 etc.

TYPICAL APPLICATION

- Magnetic Field Measurement
- DC Brushless Motor
- Current Sensor
- Non-contact Switch
- Position Control
- Detection of Revolution

BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATING (Table 1.)

Parameter	Symbol	Value		Unit
Max. Input Current (Voltage)	Ic (Vc)	13 (12)		mA (V)
Operating temperature range	TA	CYSJ902S / CYSJ902SS	CYSJ902H	°C
		-40~125	-55~150	
Storage temperature range	TS	-45~150	-55~150	°C
MTBF (Mean Time Between Failures)		>100k		hour

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TA=25°C)

Table 2. Electrical Characteristics of CYSJ902

Parameter	Symbol	Test conditions	Value	Unit
Hall output voltage	VH	B=50mT, Ic=5mA	36~54	mV
Offset voltage	Vos(Vu)	Ic=5mA, B=0	CYSJ902S/CYSJ902H	mV
			±5	
Input resistance	Rin	B=0mT, Ic=0.1mA	650~850	Ω
Output resistance	Rout	B=0mT, Ic=0.1mA	650~850	Ω
Temperature coefficient of Hall output voltage	αVH	Ic=5mA, B=50mT (Ta=25°C ~ 125°C)	-0.06	%/°C
Temperature coefficient of input resistance	αRin	Ic=0.1mA, B=0mT (Ta=25°C ~ 125°C)	0.3	%/°C
Linearity	ΔKH	Ic=5mA B=0.1~0.4T	±1.0	%

Notes: $V_H = V_{HM} - V_{OS}(V_u)$ (V_{HM} : measured voltage)

$$\alpha V_H = \frac{1}{V_H(T_1)} \times \frac{V_H(T_2) - V_H(T_1)}{T_2 - T_1} \times 100,$$

$$\alpha R_{in} = \frac{1}{R_{in}(T_1)} \times \frac{R_{in}(T_2) - R_{in}(T_1)}{T_2 - T_1} \times 100$$

$$\Delta K_H = \frac{K(B_1) - K(B_2)}{[K(B_1) + K(B_2)]} \times 200$$

$$K_H = \frac{V_H}{I_C B}$$

$$T_1=25^\circ\text{C}, T_2=125^\circ\text{C}, \quad B_1=0.4\text{T}, B_2=0.1\text{T}$$

Markt Schwabener Str. 8
D-85464 Finsing
Germany

Tel.: +49 (0)8121 - 2574100
Fax: +49 (0)8121 - 2574101
Email: info@cy-sensors.com
http://www.cy-sensors.com