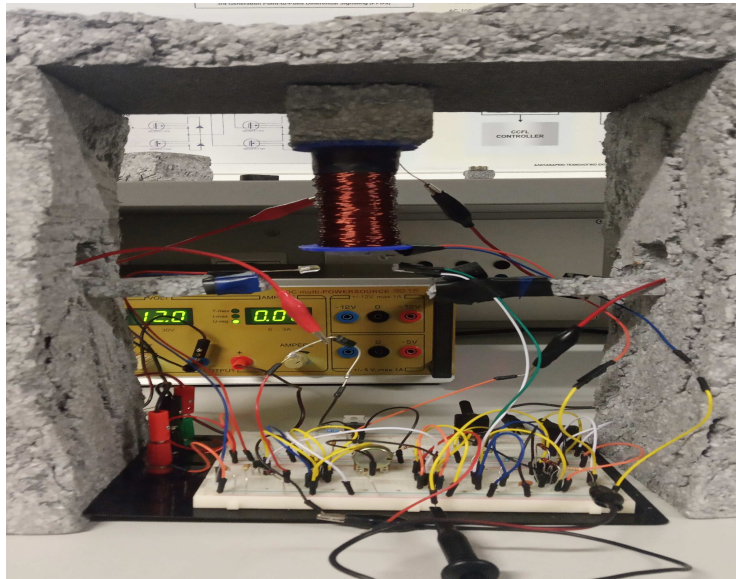


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



«Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος
μαγνητικής αιώρησης»

Του φοιτητή
Καραμανίδη Αναστάσιου
Αρ. Μητρώου: 513071

Επιβλέπων
Κιοσκερίδης Ιορδάνης
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 23/6/2022

Βεβαίωση

Τίτλος Π.Ε. Σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος μαγνητικής αιώρησης

Κωδικός Π.Ε. 16133

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Καραμανίδης Αναστάσιος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 5/4/2019

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 23/6/2022

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 δπτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Καραμανίδη Αναστάσιου που την εκπόνησε. 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 οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής 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.

Πρόλογος

Ο λόγος που επέλεξα αυτή την εργασία ήταν γιατί αρχικά αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα. Στο κοντινό μέλλον ίσως αποτελέσει μεγάλη επανάσταση στις μεταφορές.

Αν και για την ώρα η χρήση της μαγνητικής αιώρησης είναι σημαντική, μπορεί κάλλιστα να γίνει σημαντικότερη.

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι μπορεί να αιωρηθεί ένα αντικείμενο με τη βοήθεια μαγνητικού πεδίου, αλλά πιο ενδιαφέρον το ότι ίσως και κάτι μεγαλύτερο ή μη μαγνητικό.

Ένας άλλος λόγος είναι ότι το κύκλωμα παρουσιάζει το συνδυασμό, πολλών επιμέρους, κυκλωμάτων και αποτελεί καλή μελέτη, σε βάθος πληροφοριών, για χρήσιμες γνώσεις για άλλες εργασίες που ενδεχομένως θα βρεθούν στο δρόμο μου.

Το κύριο όφελος από την εργασία είναι κυρίως η εξειδίκευσή μου στις κατασκευή και δημιουργία κυκλωμάτων, κάνοντας πράξη τις γνώσεις που αποκόμισα από την παρακολούθηση των μαθημάτων της σχολής, τη διδασκαλία από τους καθηγητές και τις πληροφορίες των βιβλίων, των μαθημάτων.

Ένα μεγάλο όφελος, ακόμα είναι και η εύρεση των κατάλληλων εξαρτημάτων, μελετώντας τα φύλλα δεδομένων, που δεν χρησιμοποιήσαμε στο εργαστήριο, για διάφορους λόγους, καθώς και η πειραματική τους εφαρμογή σε πλακέτα, για αποκόμιση πληροφοριών και εμπειρίας.

Περίληψη

Το γενικό θέμα αυτής της εργασίας είναι ο μαγνητισμός και οι ιδιότητές του. Πολλοί ασχολήθηκαν με τον μαγνητισμό κατά περιόδους και πέτυχαν πολλές διαφορετικές τεχνολογικές ανακαλύψεις. Αυτό το θέμα θα μελετηθεί και στη συνέχεια θα αναφερθώ στον ηλεκτρομαγνητισμό, που είναι μια ιδιότητα του ηλεκτρισμού, που θα προκαλέσει το κύριο θέμα αυτής της εργασίας, που είναι το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης. Η φυσική πίσω από τη μαγνητική αιώρηση είναι απλή και διασκεδαστική, παρ' όλα αυτά σημαντική για την καθημερινότητα και βολική για το μέλλον. Η μαγνητική αιώρηση, που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείτε στις μεταφορές, μέσα από τα τρένα μαγνητικής αιώρησης, μπορεί κάλλιστα να συγκριθεί με τα άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς και ακόμα και να τα ξεπεράσει.

Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την εργασία θα δείξουν, ότι όχι μόνο δεν είναι εύκολη η πραγματοποίηση του φαινομένου αλλά εξαρτάτε και από πολλές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν, έχουν να κάνουν με το πως συμπεριφέρεται το κύκλωμα, όταν ο αισθητήρας αλλάζει την τάση στα άκρα του, ανάλογα με τη θέση του αντικειμένου, που προτάθηκε ώστε να αιωρηθεί από αυτή. Το υλικό του αντικειμένου, είναι πολύ σημαντικό για την επίτευξη του στόχου καθώς και οι παράμετροι των αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να προσδιοριστεί η θέση του απέναντι από το πηνίο. Η ταχύτητα απόκρισης του κυκλώματος, στις αλλαγές αυτές, είναι επίσης σημαντικός παράγοντας και θα εξαρτηθεί από τα υλικά της κατασκευής. Η δύναμη έλξης του πηνίου, θα καθορίσει της απόσταση, στην οποία θα αιωρηθεί το αντικείμενο, καθώς και την απόσταση της τοποθέτησης και επιλογής των αισθητήρων.

Αν και δοκιμάστηκαν πολλά υλικά και τρόποι, το κύκλωμα δεν αιωρεί αποτελεσματικά τη σφαίρα, κυρίως λόγω των δυσκολιών στην εύρεση κατάλληλων υλικών και τοποθέτησης, αλλά η μελέτη που έγινε είναι άκρος ενδιαφέρουσα και τα αποτελέσματά της σημαντικά για μελλοντικές, παρόμοιες έρευνες.

Design and implementation of magnetic levitation system

ANASTASIOS KARAMANIDIS

Abstract

The general theme of this work is magnetism and its properties. Many have been involved with magnetism from time to time and have made many different technological discoveries. This topic will be studied and then I will refer to electromagnetism, which is a property of electricity, which will cause the main topic of this work, which is the phenomenon of magnetic swing. The physics behind magnetic swing are simple and fun, yet important for everyday life and convenient for the future. The magnetic swing, which you mainly use in transport, through magnetic swing trains, can well be compared to other public transport and even surpass them.

The results that will result from the work will show that not only is the phenomenon not easy to realize but you also depend on many parameters. The results observed have to do with how the circuit behaves when the sensor changes the voltage at its ends, depending on the position of the object, which was proposed to be suspended from it. The material of the object is very important for achieving the goal as well as the parameters of the sensors that will be used to determine its position opposite the coil. The response speed of the circuit to these changes is also an important factor and will depend on the materials of construction. The traction force of the coil will determine the distance at which the object will be suspended, as well as the distance of placement and selection of the sensors.

Although many materials and methods have been tried, the circuit does not effectively float the sphere, mainly due to difficulties in finding suitable materials and placement, but the study that was done, is extremely interesting and its results important for future, similar research.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Κατάλογος εικόνων.....	7
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Συντομογραφίες.....	10
Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 1 : Ιστορική εξέλιξη του μαγνητισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού.....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Η πυξίδα.....	13
1.3 Μελετητές του μαγνητισμού.....	14
1.4 Επίλογος.....	19
Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και ηλεκτρομαγνητισμός.....	20
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Θεωρία.....	20
2.3 Φαινόμενα και νόμοι του μαγνητισμού και ηλεκτρομαγνητισμού.....	21
2.4 Επίλογος.....	26
Κεφάλαιο 3: Μαγνητικοί πόλοι της Γης και η πυξίδα.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Μαγνητικοί πόλοι.....	27
3.3 Λειτουργία της πυξίδας.....	28
3.4 Επίλογος.....	28
Κεφάλαιο 4: Τύποι μαγνητών.....	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Τύποι μαγνητών.....	29

4.3 Μαγνητικά υλικά.....	30
4.4 Επίλογος.....	32
Κεφάλαιο 5: Μαγνητική αιώρηση.....	33
5.1 Εισαγωγή.....	33
5.2 Μαγνητική αιώρηση.....	33
5.3 Μέθοδοι αιώρησης.....	34
5.4 Διαμαγνητικά σταθεροποιημένη αιώρηση.....	36
5.5 Επίλογος.....	37
Κεφάλαιο 6 : Μαγνητικά Τρένα και πως λειτουργούν.....	38
6.1 Εισαγωγή.....	38
6.2 Μαγνητικά τρένα.....	38
6.3 Τεχνολογικά συστήματα maglev.....	39
6.4 Τεχνολογικές βελτιώσεις των συστημάτων των μαγνητικών τρένων.....	41
6.5 Σύγκριση Μαγνητικών Τρένων με Συμβατικά και Αεροπλάνα.....	42
6.6 Επίλογος.....	44
Κεφάλαιο 7: Πειραματική εφαρμογή.....	45
7.1 Εισαγωγή.....	45
7.2 Διάγραμμα κατασκευής με φώτο αισθητήρες.....	45
7.3 Διάγραμμα κατασκευής με αισθητήρα hall.....	46
7.4 Κυκλώματα κατασκευής και προσομοιώσεις.....	47
7.5 Επίλογος.....	60
Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης.....	61
Βιβλιογραφία.....	63

Κατάλογος εικόνων

1.2.1 Τυπική πυξίδα.....	13
1.3.1 Ο Θαλής ο Μιλήσιος.....	14

1.3.2 Michael Faraday.....	14
1.3.3 Joseph Henry.....	15
1.3.4 James- Clerk Maxwell.....	15
1.3.5 Nikola Tesla.....	15
1.3.6 Samuel Eranshaw.....	16
1.3.7 Andre-Marie Ampere.....	16
1.3.8 Jean- Baptiste Biot.....	16
1.3.9 Edwin- Herbert Hall.....	17
.1.3.10 Johann- Carl- Friedrich Gauss	17
1.3.11 Wilhelm- Eduard Weber.....	17
1.3.12 William Gilbert.....	18
1.3.13 Pierre Curie.....	18
1.3.14 Pierre Weiss.....	19
1.3.15 Charles- Augustin de Coulomb.....	19
2.2.1 Μαγνητικά πεδία.....	20
2.2.2 Κατεύθυνση ρεύματος σε πηνίο.....	21
2.3.1 Σχεδιάγραμμα του νόμου Faraday.....	22
2.3.2 Σχεδιάγραμμα της δύναμης Lorentz	23
2.3.3 Σχεδιάγραμμα του νόμου Ampere.....	23
2.3.4 Σχεδιάγραμμα του φαινομένου Hall.....	24
2.3.5 Σχεδιάγραμμα του νόμου Gauss.....	26
3.2.1 Μαγνητικοί πόλοι της Γης.....	27
3.3.1 Επεξήγηση πυξίδας.....	28
4.2.1 Τυπικός ηλεκτρομαγνήτης.....	29
4.3.1 Τυπικοί φερρείτες.....	30
4.3.2 Τυπικοί μαγνήτες Alnico.....	30
4.3.3 Τυπικός εύκαμπτος μαγνήτης.....	31

4.3.4	Τυπικός μαγνήτης σαμαρίου- κοβαλτίου.....	31
4.3.5	Τυπικοί μαγνήτες νεοδημίου.....	32
5.2.1	Εικόνα ενός συστήματος μαγνητικής αιώρησης.....	33
5.3.1	Ψευδοαίωρηση.....	35
5.4.1	Διαμαγνητική αιώρηση με υπεραγωγό.....	37
6.2.1	Τυπικό τρένο μαγνητικής αιώρησης.....	38
6.3.1	Πίνακας Hallbach.....	40
6.4.1	Vactrain.....	41
6.5.1	Τυπικό τρένο μαγνητικής αιώρησης.....	42
6.5.2	Τυπικό συμβατικό τρένο.....	42
6.5.3	Τυπικό τρένο μαγνητικής αιώρησης.....	43
6.5.4	Τυπικό αεροπλάνο.....	43
7.2.1	Σχεδιάγραμμα λειτουργίας κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες.....	45
7.3.1	Σχεδιάγραμμα λειτουργίας κυκλώματος με αισθητήρα hall.....	46
7.4.1	Πανοραμική φωτογραφία κατασκευής.....	47
7.4.2	Προσομοίωση τροφοδοτικού.....	48
7.4.3	Κυματομορφές τροφοδοτικού.....	49
7.4.4	Πραγματικό κύκλωμα τροφοδοτικού.....	50
7.4.5	Φωτογραφία κυματοφορφής εξόδου μετασχηματιστή από παλμογράφο.....	51
7.4.6	Φωτογραφία θετικής και αρνητικής εξόδου γέφυρας.....	51
7.4.7	Φωτογραφία εξόδου θετικού σταθεροποιητή και πυκνωτή από παλμογράφο.....	52
7.4.8	Φωτογραφία εξόδου αρνητικού σταθεροποιητή και πυκνωτή από παλμογράφο.....	52
7.4.9	Προσομοίωση κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες	53
7.4.10	Κυματομορφές κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες.....	54
7.4.11	Πραγματικό κύκλωμα με οπτικούς αισθητήρες.....	55
7.4.12	Η τοποθέτηση των αισθητήρων κοντά στο πηνίο.....	55
7.4.13	Φωτογραφία τιμής Led από πολύμετρο.....	56

7.4.14 Φωτογραφία τιμής αισθητήρα μέτρησης από πολύμετρο.....	56
7.4.15 Φωτογραφία τιμής αισθητήρα σύγκρισης από πολύμετρο.....	56
7.4.16 Φωτογραφία τάσης εισόδου διακόπτη χωρίς εμπόδιο.....	56
7.4.17 Φωτογραφία τάσης εισόδου διακόπτη με εμπόδιο.....	56
7.4.18 Προσομοίωση κυκλώματος με αισθητήρα hall.....	57
7.4.19 Κυματομορφές κυκλώματος με αισθητήρα hall.....	58
7.4.20 Πηνίο στην προσομοίωση.....	59
7.4.21 Πηνίο στην κατασκευή.....	60

Κατάλογος Πινάκων

7.4.1 Πίνακας τιμών κορυφής τροφοδοτικού.....	50
7.4.2 Πίνακας τιμών κορυφής κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες.....	54
7.4.3 Πίνακας τιμών κορυφής κυκλώματος με αισθητήρα hall.....	45

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
maglev	magnetic levitation

Εισαγωγή

Σε αυτή την εργασία θα μελετηθεί, θα σχεδιαστεί και θα υλοποιηθεί ένα σύστημα μαγνητικής αιώρησης. Στόχος αυτής της εργασίας είναι να δείξει τις δυνατότητες του μαγνητισμού και των μαγνητικών πεδίων. Στη συνέχεια θα εξηγηθεί πως συμβαίνει το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης και που χρησιμοποιείται καθώς και τη χρησιμότητά του στην καθημερινότητα.

Αρχικά θα γίνουν αναφορές σε επιστήμονες που κατά καιρούς συνέβαλαν στην εξέλιξη της φυσικής επιστήμης, που οδήγησε στην εύρεση του ηλεκτρισμού και μαγνητισμού και στις κατασκευές και χρήσεις που έχουν σήμερα.

Θα αναφερθώ στα φαινόμενα του μαγνητισμού και ηλεκτρισμού, καθώς και σε θεωρήματα που έχουν σχέση με αυτά και την εργασία. Τα μαγνητικά υλικά είναι σημαντικά για την εργασία και θα δοθούν χρήσιμες πληροφορίες για αυτά. Τέλος θα μπούμε στο κύριο θέμα της εργασία , τη μαγνητική αιώρηση.

Αφού αναλυθεί το φαινόμενο, θα αναφερθώ στους τρόπους με τους οποίους πραγματοποιείται.

Τέλος θα αναφερθώ στη χρήση της τεχνολογίας αυτής, στα τρένα μαγνητικής αιώρησης, στο πως εξελίσσεται ώστε να αντικαταστήσει τα συμβατικά τρένα και φυσικά μια σύγκριση των δύο για να δούμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους καθώς και τους λόγους δυσκολίας της αλλαγής.

Στο τελευταίο κομμάτι, θα γίνει η ανάλυση της πειραματικής κατασκευής του κυκλώματος και θα εξηγηθούν τα αποτελέσματα, της πειραματικής εφαρμογής πάνω στην κατασκευή, τόσο σε εργαστηριακό όσο και σε προγραμματιστικό επίπεδο. Θα δοθούν επεξηγήσεις στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και στους μαθηματικούς τύπους που θα μελετηθούν.

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν, η πυξίδα και οι μελετητές, ανά τους χρόνους, του μαγνητισμού

1.2 Η πυξίδα



Εικόνα 1.2.1 Τυπική πυξίδα

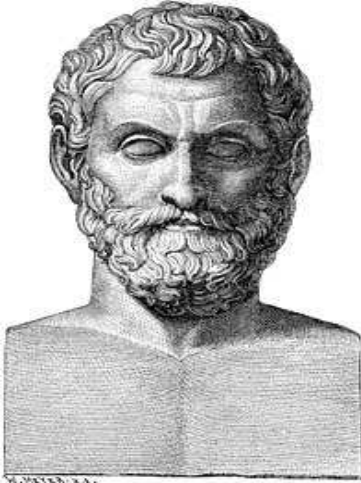
Χρησιμοποιόταν ήδη από τις δυναστείες **Σονγκ (960-1279μ.χ.)** και **Γιουάν (1271-1368μ.χ.)** στη ναυσιπλοΐα και διαδόθηκε τον 12ο αιώνα μ.χ. στην Ασία και την Ευρώπη συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του εμπορίου, της οικονομίας και του πολιτισμού.

Ο αρχαίος Κινέζος επιστήμονας **Shen kuo (1031-1095)** ήταν ο πρώτος που έγραψε για την πυξίδα και βελτίωσε την ακρίβειά της στην ναυσιπλοΐα χρησιμοποιώντας την αστρονομική θεωρία του πραγματικού βορρά.

Πολλοί επιστήμονες μελέτησαν τις ιδιότητες των μαγνητικών υλικών και αργότερα και του φαινομένου του μαγνητισμού αλλά και τον ηλεκτρομαγνητισμό κατασκευάζοντας διατάξεις που αποτελούν πρότυπα της σημερινής τεχνολογίας.

Οι ελκτικές ιδιότητες των μαγνητών ήταν γνωστές από την αρχαιότητα σε έθνη όπως οι Έλληνες οι Αιγύπτιοι και οι Κινέζοι. Η πυξίδα, που εφευρέθηκε από τους Κινέζους, ήταν μια από τις σπουδαιότερες εφευρέσεις τους. Μια βελόνα από μαγνητικό υλικό τοποθετούνταν έτσι ώστε να περιστρέφεται εύκολα. Η βελόνα ευθυγραμμίζεται με το μαγνητικό πεδίο της Γης που ασκεί σε αυτή ροπή σπρώχνοντάς την προς το βορρά

1.3 Μελετητές του μαγνητισμού



Εικόνα 1.3.1 Θάλης

Ο **Θαλής ο Μιλήσιος (640 ή 624 π.χ. - 546 π.χ.)** ήταν αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος και ο αρχαιότερος των προσωκρατικών, ο πρώτος των επτά σοφών της αρχαιότητας, μαθηματικός, φυσικός, αστρονόμος, μηχανικός, μετεωρολόγος ιδρυτής της Ιωνικής σχολής της φυσικής φιλοσοφίας στη Μίλητο. Στον τομέα της φυσικής, ανακάλυψε τις τροπές (ηλιοστάσια), το ετερόφωτο (ορατό φάσμα φωτός) της σελήνης, και τον ηλεκτρισμό και μαγνητισμό από τη μελέτη των ελκτικών δυνάμεων του μαγνήτη και του ήλεκτρου (κεχριμπάρι). Ο **Αριστοτέλης** του αποδίδει την πρώτη θεωρία περί μαγνητισμού.



Εικόνα 1.3.2 Michael Faraday
συμπέρασμα ότι αφού διοχετεύσει ρεύμα στη μια σπείρα, η άλλη θα διαρρέεται και αυτή από ρεύμα, αλλά μόνο όταν στη πρώτη αρχίσει να διακόπτεται. Δηλαδή το ρεύμα επάγεται από την πρώτη σπείρα στη δεύτερη μέσω του μαγνητικού της πεδίου, τη δημιουργία ηλεκτρισμού από μαγνήτες. Μετά από μερικά πειράματα διαπίστωσε ότι ο σιδερένιος δακτύλιος δεν ήταν απαραίτητος και ότι η πρώτη σπείρα μπορούσε να αντικατασταθεί από μαγνήτη. Τέλος διατύπωσε τη δεξιόστροφη φορά του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με το ρεύμα που το διαρρέει, επινόησε το μετασχηματιστή και έδειξε ότι κάθε υλικό έχει τη δική του επαγωγική ικανότητα.

Ο **Michael Faraday (1791-1867)** ήταν Άγγλος επιστήμονας με σημαντική συμβολή στην εξέλιξη του ηλεκτρομαγνητισμού. Έγινε γνωστός για τις μελέτες του πάνω στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η πρώτη του ανακάλυψη έγινε όταν επανέλαβε το πείραμα του Έρνεστ και παρατήρησε την αλλαγή στη μαγνητική βελόνα, καθώς πλησίαζε σε αγωγό ρεύματος, που του επέτρεψε να καταλάβει την ύπαρξη ομόκεντρων κύκλων στον άξονα του αγωγού. Αυτή είναι και η απεικόνιση του μαγνητικού πεδίου που ονομάζουμε δυναμικές γραμμές. Το φαινόμενο της επαγωγής το ανακάλυψε τυλίγοντας σύρμα, σε σπείρες, γύρω από σίδηρο σε σχήμα δακτυλίου. Από αυτό έβγαλε το

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη του μαγνητισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού



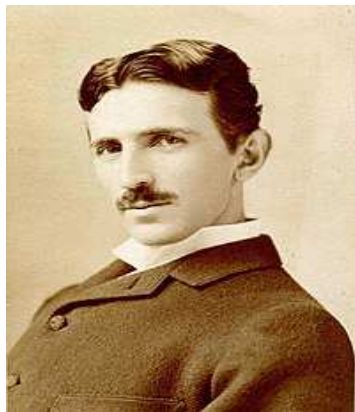
Εικόνα 1.3.3 Joseph Henry

Ο **Joseph Henry (1797-1878)** ήταν Αμερικανός φυσικός που ανακάλυψε το φαινόμενο της αυτεπαγωγής και σχεδόν την ίδια στιγμή με τον Michael Faraday την αμοιβαία επαγωγή δηλαδή, όπως ανέφερα και πιο πάνω, τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με μαγνήτη. Τελειοποίησε το ηλεκτρομαγνητικό ρελέ που χρησιμοποιήθηκε στον τηλεγράφο και κατασκεύασε τους πρώτους ηλεκτροκινητήρες.



Εικόνα 1.3.4 James- Clerk Maxwell

Ο **James- Clerk Maxwell (1831-1879)** ήταν Σκοτσέζος θεωρητικός φυσικός που διατύπωσε μια σειρά εξισώσεων για τον ηλεκτρισμό, τον μαγνητισμό και το φως, οι οποίες αργότερα απλοποιήθηκαν από τον Oliver Heaviside. Έδειξε πως και τα τρία είναι παράγωγα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, πως ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός ταξιδεύουν σε μορφή κυμάτων με την ταχύτητα του φωτός και εισήγαγε την έννοια του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 1.3.5 Nikola Tesla

Ο **Nikola Tesla (1856-1943)** ήταν Σερβοαμερικανός εφευρέτης που ασχολήθηκε κυρίως με τον εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργός της γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος, αλλά και του πηνίου.

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη του μαγνητισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού



Εικόνα 1.3.6 Samuel Eranshaw

Ο **Samuel Eranshaw (1805-1888)** ήταν Άγγλος κληρικός, μαθηματικός και φυσικός. Διακρίθηκε για τα επιτεύγματά του σε θεωρήματα φυσικής αλλά και για το ομώνυμο θεώρημά του που δείχνει ότι είναι αδύνατη η σταθερή αιώρηση μεταξύ δύο μαγνητών.



Εικόνα 1.3.7 Andre- Marie Ampere

Ο **Andre- Marie Ampere (1775-1836)** ήταν Γάλλος φυσικός και θεμελιωτής του ηλεκτρομαγνητισμού και της ηλεκτροδυναμικής. Αν και ασχολήθηκε με πολλά θέματα έδωσε έμφαση στον ηλεκτρομαγνητισμό. Θεμελίωσε την άποψη ότι η μαγνητικές δυνάμεις προκαλούνται από κινητό και όχι ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο. Με το νόμο που ανακάλυψε και φέρει το όνομά του συσχετίζει το μαγνητικό πεδίο, σε ένα κλειστό βρόχο, με το ηλεκτρικό ρεύμα, που περνά από το βρόχο.



Εικόνα 1.3.8 Jean- Baptiste Biot

Ο **jean-Baptiste Biot (1774-1862)** ήταν Γάλλος φυσικός, αστρονόμος και μαθηματικός. Διατύπωσε την πραγματική διάσταση των μετεωριτών, πραγματοποίησε πτήση με αερόστατο και μελέτησε την πόλωση του φωτός. Μαζί με τον συνάδελφό του **Felix Savart** διατύπωσαν το νόμο **Μπιό-Σαβαρ** το **1820** δείχνοντας τη σύνδεση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού.

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη του μαγνητισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού



Εικόνα 1.3.9 Edwin- Herbert Hall

Ο **Edwin-Herbert Hall (1855-1938)** ήταν Αμερικανός φυσικός που ανακάλυψε το ομώνυμο φαινόμενο **hall** που συντέλεσε στη δημιουργία των ομώνυμων αισθητήρων μέτρησης του μαγνητικού πεδίου. Έκανε θερμοηλεκτρικές έρευνες και έγραψε βιβλία φυσικής και εργαστηριακές οδηγίες.



Εικόνα 1.3.10 Johann- Carl- Friedrich Gauss

Ο **Johann- Carl- Friedrich Gauss (1777-1855)** (αριστερά) ήταν Γερμανός μαθηματικός και φυσικός. Μαζί με τον **Wilhelm-Eduard Weber** (κάτω) **(1804-1891)**, Γερμανό φυσικό, κατασκεύασαν τον ηλεκτρομαγνητικό τηλέγραφο το 1831 και μελέτησαν το μαγνητικό πεδίο συσχετίζοντας το με τη μάζα, το πεδίο και το χρόνο.



Εικόνα 1.3.11 Wilhelm- Eduard Weber

Κεφάλαιο 1: Ιστορική εξέλιξη του μαγνητισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού



Εικόνα 1.3.12 William Gilbert

Ο **William Gilbert (1544-1603)**, ήταν Άγγλος γιατρός, φυσικός και φιλόσοφος. Ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν τις ιδιότητες του μαγνητισμού και απέδειξε ότι η Γη έχει μαγνητικό πεδίο που κάνει τις πυξίδες να δείχνουν βόρεια. Τα διατύπωσε στο βιβλίο του με τίτλο 'De magnete' το **1600**.



Εικόνα 1.3.13 Pierre Curie

Ο **Pierre Curie (1859-1906)**, ήταν Γάλλος φυσικός, πρωτοπόρος στην κρυσταλλογραφία, μαγνητισμό, πιεζοηλεκτρισμό και ραδιενέργεια. Μελέτησε, μεταξύ άλλων, το σιδηρομαγνητισμό, διαμαγνητισμό και παραμαγνητισμό. Διατύπωσε το νόμο Curie, κατά τον οποίο, οι ακραίες θερμοκρασίες στον παραμαγνητισμό εξαφανίζουν το μαγνητικό πεδίο. Επίσης ανακάλυψε ότι τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν τις ιδιότητές τους στις ακραίες θερμοκρασίες.



Εικόνα 1.3.14 Pierre- Ernest Weiss

Ο **Pierre-Ernest Weiss (1865-1940)**, ήταν Γάλλος φυσικός ιδιόκτο στο μαγνητισμό. Διατύπωσε τη θεωρία του τομέα των σιδηρομαγνητικών υλικών και του μέσου πεδίου που οδήγησε στην ανακάλυψη του νόμου Weiss-Curie που δείχνει την ευαισθησία των σιδηρομαγνητικών υλικών. Οι πειραματικές ανακαλύψεις του οδήγησαν στη δημιουργία ισχυρότερων ηλεκτρομαγνητών τον 20 αιώνα.



Εικόνα 1.3.15 Charles- Augustine de Coulomb

Ο **Charles-Augustine de Coulomb (1736-1806)**, ήταν αξιωματικός, φυσικός και μηχανικός. Ανακάλυψε την ηλεκτροστατική δύναμη της έλξης και απώθησης των σωμάτων και διατύπωσε τον ομώνυμο νόμο Coulomb που την περιγράφει.

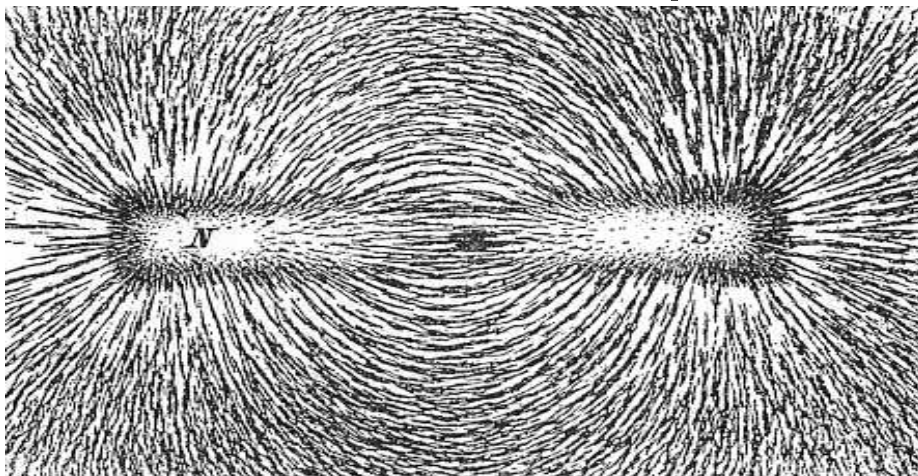
1.4 Επίλογος

Οι μελέτες και τα επιτεύγματα των παραπάνω, έχουν και θα παραμείνουν ανεξίτηλα στο πέρασμα του χρόνου. Αποτελούν τη βάση για πολλά επιτεύγματα του μέλλοντος.

2.1 Εισαγωγή

Παρακάτω θα αναφερθώ σε θεωρήματα και νόμους που διέπουν το μαγνητισμό, καθώς και σε εισαγωγική θεωρία αυτού

2.2 Θεωρία



Εικόνα 2.2.1
Μαγνητικά πεδία

Ο μαγνητισμός και ο ηλεκτρομαγνητισμός είναι δύο σημαντικές έννοιες της φυσικής και βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν, αλλά και θα μελετηθούν ως προς τις ιδιότητές τους σε αυτή την εργασία, θεωρητικά και πειραματικά.

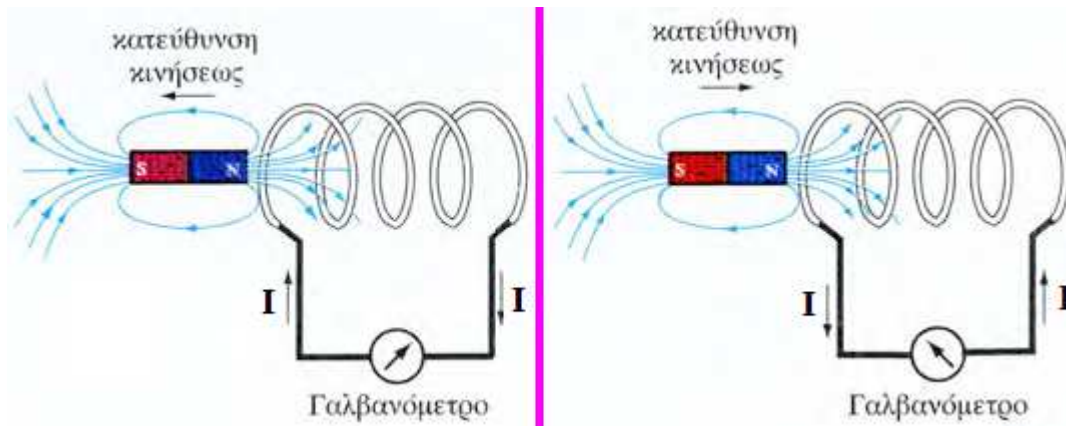
Μαγνητισμός είναι μια ιδιότητα που έχουν κάποια υλικά και μπορούν να ασκήσουν ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις σε άλλα υλικά, καθώς και το σύνολο των φαινομένων που παράγονται από αυτή. Η ιδιότητα αυτή, οφείλετε στην κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, η κίνηση των ηλεκτρονίων, δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο.

Ηλεκτρομαγνητισμός είναι μια από τις 4 θεμελιώδεις δυνάμεις της φυσικής και μελετά τα φαινόμενα που απορρέουν από το ηλεκτρικό φορτίο των σωματιδίων και από την αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών πεδίων με τα μαγνητικά πεδία.

Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται διαφορά δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου. Αυτό σημαίνει πως μεταξύ 2 ή

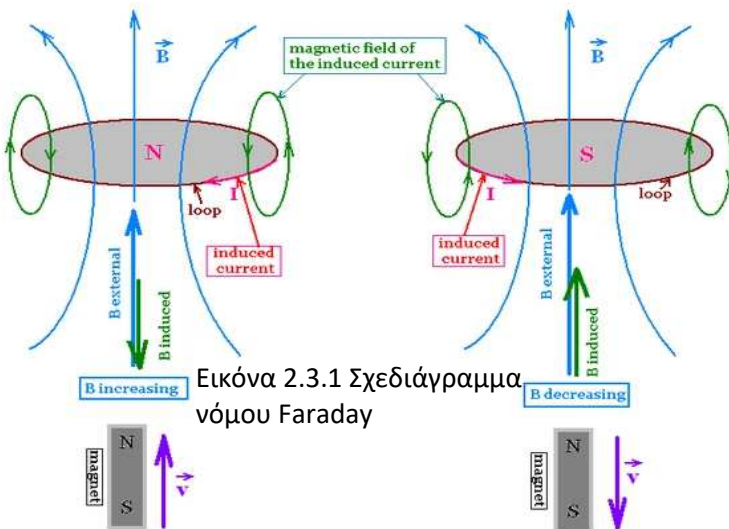
Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και Ηλεκτρομαγνητισμός

περισσότερων μαγνητικών πεδίων μπορεί να δημιουργηθεί τάση. Ανακαλύφθηκε από τον Φάραντεϊ και στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος, εκφράζεται με την ανάπτυξη ηλεκτρομαγνητικής δύναμης στο κύκλωμα.



Εικόνα 2.2.2 Κατεύθυνση ρεύματος σε πηνίο

2.3 Φαινόμενα και νόμοι του μαγνητισμού και ηλεκτρομαγνητισμού



Εικόνα 2.3.1 Σχεδιάγραμμα νόμου Faraday

Σύμφωνα με το **νόμο Faraday** η ηλεκτρική δύναμη είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής:

$$\mathcal{E} = -d\Phi/dt$$

\mathcal{E} , είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, που εκφράζεται σε volt V

Φ , είναι η μαγνητική ροή, που εκφράζεται σε Weber

Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και Ηλεκτρομαγνητισμός

Όταν το φαινόμενο εξελίσσεται σε πηνίο τότε ισχύει:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

\mathcal{E} , είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, που εκφράζεται σε volt V

Φ , είναι η μαγνητική ροή, που εκφράζεται σε Weber

N, είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

Το αρνητικό πρόσημο (-) στους τύπους δικαιολογείται από τον **κανόνα του Λέντς**.

Ο **νόμος Μπιό-Σαβάρ** περιγράφει το διάνυσμα της μαγνητικής επαγωγής B μέσω του μέτρου και της διεύθυνσης του ηλεκτρικού ρεύματος, της απόστασης από το ηλεκτρικό ρεύμα, και της μαγνητικής διαπερατότητας.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \times \mathbf{r}}{r^3}$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A. Όπου μ_0 είναι η μαγνητική σταθερά του κενού.

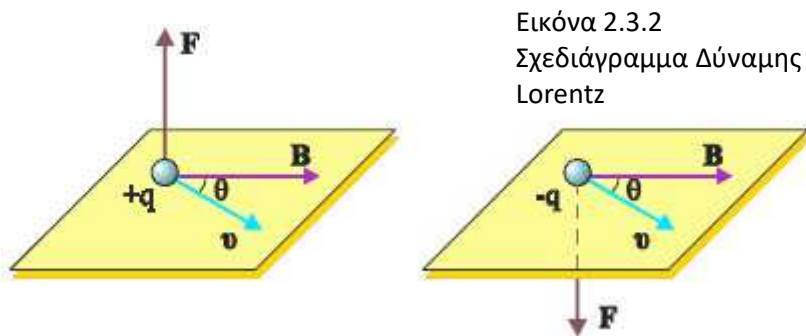
I, είναι το ρεύμα που μετριέται σε **ampere**.

dl, είναι το διαφορικό διάνυσμα του μήκους του ρεύματος.

r, είναι το μοναδιαίο διάνυσμα με διεύθυνση από το στοιχείο ρεύματος στο σημείο που υπολογίζεται το πεδίο B.

r είναι η απόσταση από το στοιχείο ρεύματος στο σημείο του πεδίου B.

Αυτεπαγωγή είναι το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής όπου το σώμα που προκαλεί επαγωγή είναι και αυτό στο οποίο επιδρά.



Δύναμη Lorentz είναι η δύναμη που θα ασκηθεί σε ένα φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το σωματίδιο θα αντιληφθεί τη δύναμη εξ

Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και Ηλεκτρομαγνητισμός

αιτίας του ηλεκτρικού πεδίου $q\mathbf{E}$, και εξ αιτίας του μαγνητικού πεδίου $q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$. Ο συνδυασμός τους, δίνει την εξίσωση (ή το νόμο) της δύναμης Lorentz. Είναι επίσης μια από τις **οκτώ εξισώσεις του Maxwell**.

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

\mathbf{F} =δύναμη Lorentz(σε **Newton, N**)

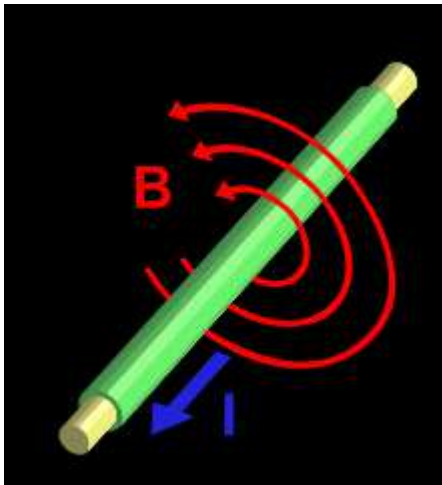
\mathbf{E} =ηλεκτρικό πεδίο(σε **volts** ανά **μέτρα, V/m**)

\mathbf{B} =μαγνητικό πεδίο(σε **Tesla, T**)

q =ηλεκτρικό φορτίο σωματιδίου(σε **Coulomb, C**)

\mathbf{v} =στιγμιαία ταχύτητα σωματιδίου(σε **μέτρα** ανά **δευτερόλεπτο, m/s**)

Ο **νόμος Μπιό-Σαβάρ** όπως και η **δύναμη Lorentz** είναι θεμελιώσεις νόμοι του **ηλεκτρομαγνητισμού**.



Ο **νόμος του Αμπερ** συσχετίζει το μαγνητικό πεδίο ενός αγωγού με το ρεύμα που τον διαρρέει:

$$\mathbf{B}=\mu*\mathbf{H}$$

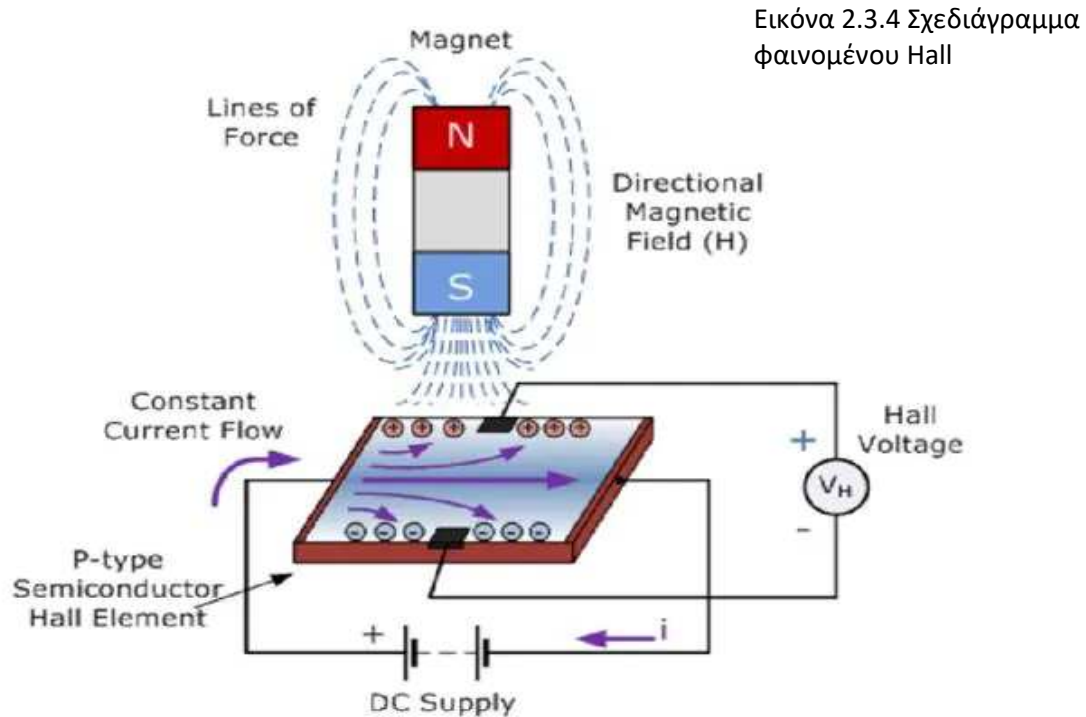
\mathbf{B} , είναι η πυκνότητα της μαγνητικής ροής

\mathbf{H} , είναι το μαγνητικό πεδίο

μ , είναι η μαγνητική διαπερατότητα του μέσου.

Εικόνα 2.3.3
Σχεδιάγραμμα
νόμου Ampere

Το **φαινόμενο hall** συμβαίνει όταν τοποθετούμε μια μεταλλική πλάκα, που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού στα άκρα της πλάκας, ως μια δευτερεύουσα τάση.



Εικόνα 2.3.4 Σχεδιάγραμμα φαινομένου Hall

Όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο τα σωματίδια του ρεύματος κινούνται μέσα στον αγωγό και συγκρούονται, με άλλα σωματίδια. Όταν ο αγωγός βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε ασκείται μια **δύναμη Lorentz**, η οποία προκαλεί ασύμμετρη κατανομή φορτίου και συσσώρευση αυτού στο πάνω μέρος της πλάκας. Τα φορτία ξεχωρίζονται και έτσι δημιουργείται μια δευτερεύουσα τάση, ως διαφορά δυναμικού, που είναι σταθερή και διαρκεί όσο το ρεύμα ρέει στον αγωγό.

Η ιδιότητά του αυτή, να διαχωρίζει τα θετικά φορτισμένα σωματίδια από τα αρνητικά, μας επιτρέπει να μελετήσουμε την κίνησή τους. Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε την μεταφορά του ρεύματος μέσω αυτών, που μας δίνει απόδειξη ότι τα φορτία μεταφέρουν ρεύμα. Έτσι εφόσον το ρεύμα μεταφέρεται από αυτά, καθορίζουν και την κατεύθυνσή του. Η πολικότητα του συστήματος παραμένει ανεξάρτητη από τις ιδιότητες του αγωγού, ενώ το σύστημα γίνεται πιο απλό.

Αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιείται σε αισθητήρια ως μαγνητόμετρα, για τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων ή την εύρεση μεταλλικών αντικειμένων σε κλειστούς χώρους χρησιμοποιώντας την αρχή της

Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και Ηλεκτρομαγνητισμός

διέρρευσης του μαγνητικού πεδίου ή ως διακόπτες. Ένας **αισθητήρας hall** έχει πολύ μικρή τάση εξόδου και για αυτό χρειάζεται κάποιο κύκλωμα ενισχυτή.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι δεν επηρεάζονται από σκόνη, νερό, λάσπη ή κάθε είδους βρομιές που το καθιστά καλύτερο ανιχνευτή απόστασης, από οπτικά και άλλα ηλεκτρονικά και μαγνητικά συστήματα. Η τάση του κυκλώματος που θα μετρηθεί δεν μεταφέρεται στον αισθητήρα και δεν επηρεάζει τις μετρήσεις, κάνοντας τον μετρητή αξιόπιστο.

Τα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ότι τα γύρο μαγνητικά πεδία μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν το πεδίο που, το σύστημα, προσπαθεί να μετρήσει. Σε σύγκριση με οπτικούς αισθητήρες, το **hall**, δεν μπορεί να προσδιορίσει, ακριβώς τη θέση όπου βρίσκεται αυτό που μετρείται, ενώ μπορεί να μετρήσει και άλλα μαγνητικά πεδία που βρίσκονται κοντά, μειώνοντας έτσι την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Ο **νόμος του Gauss** περιγράφει τη σχέση μεταξύ ενός ηλεκτρικού πεδίου και των φορτίων που το αποτελούν. Το θεώρημα εξηγεί πως τα θετικά φορτία κινούνται πάντα προς τα αρνητικά και οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από τα θετικά φορτία προς τα αρνητικά.

Έτσι μετρώντας τον αριθμό των δυναμικών γραμμών που διέρχονται μια επιφάνειας, που ονομάζεται **Γκαουσιανή επιφάνεια**, και διαιρώντας με τη διηλεκτρική σταθερά, παίρνουμε το συνολικό φορτίο.

$$\Phi = \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV = \frac{Q_A}{\epsilon_0}$$

Φ , είναι η ηλεκτρική ροή

\mathbf{E} , είναι το ηλεκτρικό πεδίο

$d\mathbf{A}$, είναι η απειροστή περιοχή της επιφάνειας S

Q_A , είναι το φορτίο που περικλείει την επιφάνεια

ρ , είναι η ηλεκτρική πυκνότητα σε ένα σημείο του όγκου V

Κεφάλαιο 2 : Μαγνητισμός και Ηλεκτρομαγνητισμός

ϵ_0 είναι η ηλεκτρική διαπερατότητα του κενού

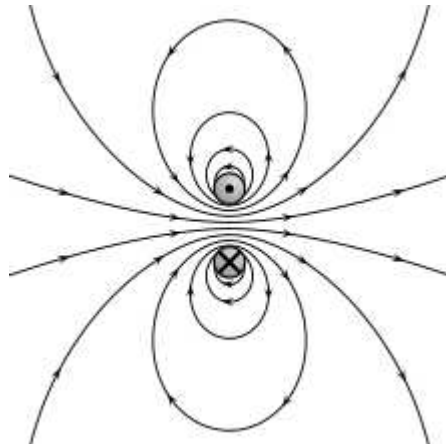
Ο νόμος του Gauss για το μαγνητισμό αναφέρει ότι δεν υπάρχουν μαγνητικά φορτία ή μαγνητικά μονόπολα και ότι το μαγνητικό πεδίο παράγεται από τη διάταξη μαγνητικών δίπολων.

Οι δυναμικές γραμμές των μαγνητικών πεδίων, δεν τελειώνουν πουθενά, δημιουργούν βρόγχους ή εκτείνονται στο άπειρο και γυρίζουν πίσω.

Το συνολικό άθροισμα της μαγνητικής ροής, πάνω σε οποιαδήποτε Γκαουσιανή επιφάνεια, είναι μηδέν.

$$\Phi_B = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι
συνεχείς βρόγχοι του θεωρήματος



Εικόνα 2.3.5
Σχεδιάγραμμα νόμου του
Gauss

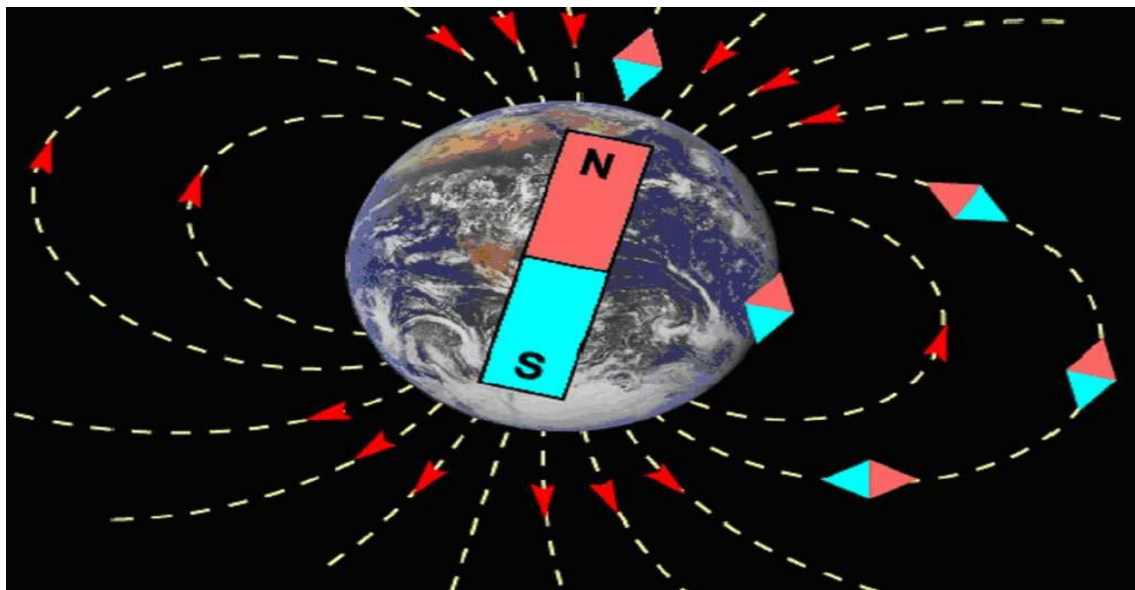
2.4 Επίλογος

Τα φαινόμενα και οι νόμοι αυτοί, είναι σημαντικοί στην κατανόηση του ηλεκτρισμού, μαγνητισμού και ηλεκτρομαγνητισμού.

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθώ στη λειτουργία των πόλων της Γης και της πυξίδας.

3.2 Μαγνητικοί πόλοι



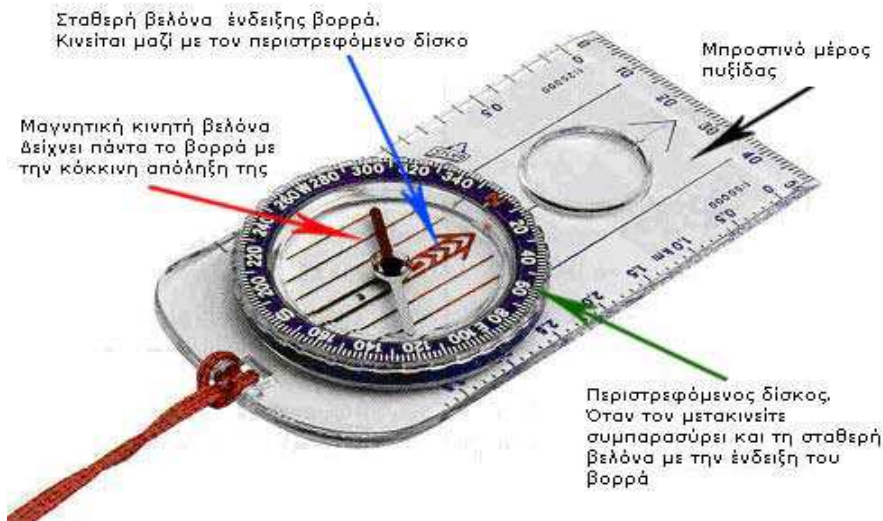
Εικόνα 3.2.1 Μαγνητικό πεδίο της Γης

Τα **μαγνητικά πεδία** εμφανίζονται ως **δίπολα**. Έχουν δηλαδή δύο πόλους, που αναφέρονται ως βόρειος και νότιος πόλος, ήδη από την εποχή της εφεύρεσης της πυξίδας, όπου αντιδρούν με το μαγνητικό πεδίο της Γης. Το μαγνητικό πεδίο περικλείει ενέργεια που σταθεροποιεί φυσικά συστήματα με την ελάχιστη ποσότητα της. Όταν ένα μαγνητικό δίπολο, εισέρχεται σε μαγνητικό πεδίο, μειώνει τη δύναμη όσο περισσότερο μπορεί και την ενεργεία του σε λιγότερη ποσότητα. Αν βάλουμε, για παράδειγμα δύο μαγνήτες τον ένα πάνω στον άλλο τότε οι αντίθετοι πόλοι τους θα έλκονται, το μαγνητικό πεδίο θα εξουδετερωθεί και κάθε προσπάθεια αλλαγής του προσανατολισμού τους θα είναι μάταιη. Αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιείται στις πυξίδες. Όταν ο μαγνήτης είναι μόνιμος εκ του φυσικού ονομάζεται ατομικό δίπολο.

Κεφάλαιο 3 : Μαγνητικοί πόλοι της Γης και η πυξίδα

Τα **μαγνητικά μονόπολα** αντίθετα έχουν μόνο έναν πόλο. Δεν υπάρχουν ούτε μπορούν να υπάρξουν στη φύση καθώς ο μαγνητισμός περιλαμβάνει κίνηση ηλεκτρονίων.

3.3 Λειτουργία πυξίδας



Εικόνα 3.3.2 Επεξήγηση πυξίδας

Παραπάνω φαίνεται η λειτουργία μιας πυξίδας. Μια σταθερή βελόνα, που δείχνει ένα σημείο στον μετρητικό δίσκο. Μια δεύτερη βελόνα, δείχνει το βορρά και κινείται προς αυτόν συνεχώς. Όταν στρέφεις την πυξίδα, η σταθερή βελόνα σου δείχνει την κατεύθυνση που παίρνεις, ενώ η κινητή που βρίσκεται ο βορράς.

3.4 Επίλογος

Ενώ η πόλοι της Γης είναι αμετάβλητοι και δημιουργούν τα μαγνητικά της πεδία, έλκουν τη βελόνα της πυξίδας, ώστε ο χειριστής της να γνωρίζει πάντα, αυτό το σημείο του ορίζοντα. Οι πόλοι της Γης λειτουργούν, όπως και οι τυπικοί μαγνήτες, της αγοράς.

4.1 Εισαγωγή

Εδώ θα γίνει αναφορά στους τύπους των μαγνητών, καθώς και στα διάφορα είδη τους, που υπάρχουν στην αγορά

4.2 Τύποι μαγνητών

Υπάρχουν δύο τύποι μαγνητών, οι **μόνιμοι** ή **προσωρινοί μαγνήτες** και οι **ηλεκτρομαγνήτες**.



Εικόνα 4.2.1 Τυπικός ηλεκτρομαγνήτης

Οι **ηλεκτρομαγνήτες** δεν είναι απαραίτητα μαγνητικά υλικά. Ένα σύρμα που διαρρέεται από ρεύμα θα μπορούσε να γίνει ηλεκτρομαγνήτης. Η κύρια ιδιότητα του ηλεκτρομαγνήτη είναι η διακοπτική του λειτουργία. Επειδή τροφοδοτείται από ρεύμα για να γίνει μαγνήτης αρκεί να κλείσει η παροχή για να χάσει αυτήν την ιδιότητα. Το

είδος της περίπλεξης του σύρματος δίνει ανάλογη φορά στο ρεύμα.

Προσωρινοί είναι οι μαγνήτες που αποκτούν τις μαγνητικές του ιδιότητες μόνο όταν εισέρχονται σε εξωτερικό μαγνητικό πεδίο ενώ οι μόνιμοι διατηρούν τις ιδιότητες αυτές χωρίς το πεδίο. Λόγω των παραπάνω, τα υλικά που αποτελούν προσωρινούς μαγνήτες είναι πιο κατάλληλα για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητών. Ένας μαγνήτης μπορεί να δημιουργηθεί με το τρίψιμο πάνω σε έναν άλλον μαγνήτη, με την κρούση του υλικού μέσα σε μαγνητικό πεδίο ή με την εισαγωγή τους μέσα σε σωληνοειδές στο οποίο παρέχουμε συνεχές ρεύμα.

Ένας **μόνιμος** μαγνήτης μπορεί να απομαγνητιστεί αν τον υποβάλλουμε σε θέρμανση ή κρούση ή με την εισαγωγή του σε σωληνοειδές στο οποίο παρέχουμε εναλλασσόμενο ρεύμα μειούμενης έντασης.

Τα μαγνητικά υλικά χωρίζονται σε παραμαγνητικά, διαμαγνητικά και σιδηρομαγνητικά.

Κεφάλαιο 4: Τύποι μαγνητών

Τα **διαμαγνητικά υλικά** έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο κάτω από ένα, $\mu_r < 1$ οπότε απωθούνται από τα μαγνητικά πεδία. Τα διαμαγνητικά είναι όλα τα υπόλοιπα υλικά στην καθημερινότητα μας που θεωρούνται ως μη μαγνητικά καθώς και μέταλλα όπως ο χαλκός, ο υδράργυρος, ο χρυσός και το βισμούθιο.

Τα **παραμαγνητικά υλικά** έχουν μαγνητική διαπερατότητα λίγο πάνω από ένα, $\mu_r > 1$ επομένως έλκονται από τα μαγνητικά πεδία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών είναι παραμαγνητικά όπως το μαγνήσιο, το μολυβδαίνιο, το λίθιο και το ταντάλιο.

Τα **σιδηρομαγνητικά υλικά** έχουν μαγνητική διαπερατότητα πολύ πάνω από ένα, $\mu_r \gg 1$, και αποτελούν τους μόνιμους μαγνήτες. Σε αντίθεση με τα δύο πρώτα τα σιδηρομαγνητικά υλικά δεν χρειάζονται ρεύμα για να μαγνητίσουν και ακόμη και μετά την έλξη θα κρατήσουν τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Τα σιδηρομαγνητικά υλικά είναι οι μόνιμοι μαγνήτες που υπάρχουν στη φύση ή δημιουργήθηκαν σε εργαστήριο όπως σίδηρος, νικέλιο, κοβάλτιο, ενώσεις σπάνιων γαιών και οι μόνιμοι μαγνήτες της φύσης.

4.3 Μαγνητικά υλικά

Τέλος υπάρχουν και σύνθετοι μαγνήτες από προσμίξεις υλικών με επιπλέον ιδιότητες.



Εικόνα 4.3.1 Τυπικοί φερρίτες

Οι **φερρίτες** είναι φτηνοί λόγω των υλικών κατασκευής, δε διαβρώνονται, μπορούν να παραχθούν μαζικά σε διάφορα σχήματα αλλά οι κεραμικοί είναι εύθραυστοι.

Οι κεραμικοί **φερρίτες** χρησιμοποιούνται ως πυρήνες σε πηνία γιατί διατηρούν τις σιδηρομαγνητικές τους ιδιότητες χωρίς να είναι αγωγάμοι και έτσι δεν υφίστανται **δινορεύματα Φουκώ**.



Εικόνα 4.3.2 Τυπικοί μαγνήτες Alnico

Οι μαγνήτες **Alnico**, ανάλογα με τα υλικά των προσμίξεων και τη διαδικασία παραγωγής μπορούν να έχουν ισχυρά μαγνητικά χαρακτηριστικά και πεδία, αλλά και πλήθος κατασκευαστικών

Κεφάλαιο 4: Τύποι μαγνητών

σχημάτων. Είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση και οι φυσικές τους ιδιότητες τους κάνουν πιο ανθεκτικούς από τους **φερρίτες** αλλά όχι επιθυμητές όσο τα μέταλλα.

Οι μαγνήτες **διαμορφωμένοι με ψεκασμό** έχουν φυσικές και μαγνητικές ιδιότητες ανάλογα με τα υλικά παραγωγής αλλά χαμηλής ποιότητας, μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα με διαμόρφωση ψεκασμού και μοιάζουν με πλαστικό.



Οι **εύκαμπτοι μαγνήτες** μοιάζουν με τους μαγνήτες με διαμόρφωση ψεκασμού ψεκασμού. Παράγονται από εύκαμπτα υλικά σε λωρίδες ή φύλλα. Είναι χαμηλής μαγνητικής ικανότητας και είναι τόσο εύκαμπτοι όσο το υλικό παραγωγής.

Εικόνα 4.3.3 Τυπικός εύκαμπτος μαγνήτης

Οι σπάνιες γαίες (λανθανίδες) έχουν μερικώς κατελιημμένη την f ηλεκτρονική στοιβάδα (η οποία μπορεί να έχει έως και 14 ηλεκτρόνια). Η ελλειπτική κίνηση αυτών των ηλεκτρονίων μπορεί να ευθυγραμμιστεί σε φορά, έχοντας ως αποτέλεσμα πολύ ισχυρά μαγνητικά πεδία και γι' αυτό αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται σε μικρούς σε μέγεθος αλλά πολύ ισχυρούς μαγνήτες όπου το υψηλό τους κόστος δεν αποτελεί πρόβλημα για την αγορά τους.



Εικόνα 4.3.4 Τυπικός μαγνήτης σμαριίου- κοβαλτίου

Οι μαγνήτες σμαριίου-κοβαλτίου είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί στην οξείδωση, με υψηλή μαγνητική ικανότητα και μεγαλύτερη αντοχή στην θερμοκρασία από τους αντίστοιχους alnico μαγνήτες ή μαγνήτες κεραμικών υλικών.

Ημιτετηγμένοι μαγνήτες σμαριίου - κοβαλτίου

Κεφάλαιο 4: Τύποι μαγνητών

είναι εύθραστοι και επιρρεπείς σε ραγίσματα και σπασίματα και μπορεί να σπάσουν αν υποβληθούν σε απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.3.5 Τυπικοί μαγνήτες νεοδυμίου

Οι μαγνήτες νεοδυμίου, που συνήθως ονομάζονται μαγνήτες νεοδυμιο-σιδηρο-βορίου (NdFeB), έχουν τη μέγιστη ένταση μαγνητικού πεδίου, αλλά υπολείπονται σε σχέση με τους μαγνήτες σαμαρίου - κοβαλτίου στην ανθεκτικότητα στην οξείδωση και τη θερμοκρασία. Αυτός ο τύπος μαγνήτη ήταν πάντα ακριβός, εξ αιτίας τόσο του κόστους των πρώτων υλών όσο και στην έκδοση των δικαιωμάτων (πατέντες). Το υψηλό κόστος περιόρισε την χρήση τους σε εφαρμογές όπου τέτοιες

δυνάμεις μαγνητικού πεδίου από ένα μαγνήτη είναι βαρύνουσας σημασίας. Η χρήση επιφανειών προστασίας από υλικά όπως χρυσός, νικέλιο, ψευδάργυρος, φύλλα λευκοσίδηρου και επίστρωμα εποξειδικής ρητίνης μπορούν να παρέχουν προστασία από τη διάβρωση όπου απαιτείται. Με αρχή τη δεκαετία του 1980-1990, οι μαγνήτες NIB γίνονται όλοι και λιγότερο ακριβοί και πιο δημοφιλείς σε εφαρμογές όπως σε κάποια αμφιλεγόμενα παιδικά μαγνητικά παιχνίδια κατασκευών. Ακόμη και μικροσκοπικοί μαγνήτες νεοδυμίου είναι πολύ ισχυροί, υπάρχουν, όμως αντιθέσεις απόψεων σχετικά με την χρήση τους.

4.4 Επίλογος

Οι ιδιότητες και τα είδη των μαγνητών εξαρτώνται από τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένοι. Οι ηλεκτρομαγνήτες, είναι στην ουσία, διακοπτικοί μαγνήτες, που μαγνητίζουν μόνο όταν διαρρέονται από ρεύμα.

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί, το κύριο θέμα της εργασίας, που είναι το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης.

5.2 Μαγνητική αιώρηση



Μαγνητική αιώρηση ή maglev (magnetic levitation) είναι μια μέθοδος ανύψωσης αντικειμένων με τη βοήθεια μαγνητικού πεδίου. Με αυτή προσπαθούμε να εξαλείψουμε τις δυνάμεις της βαρύτητας, προκαλώντας το φαινόμενο της αντιβαρύτητας, με τη μαγνητική δύναμη. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο δύο πράγματα πρέπει να ισχύουν. Πρώτων ότι θα υπάρχουν δυνάμεις ανύψωσης και δεύτερων ότι η ανύψωση θα έχει σταθερότητα.

Στην ουσία αν τοποθετήσουμε δύο μαγνητικά δίπολα το ένα απέναντι από τον άλλο θα απωθηθούν ή και όχι. Οι αντίθετοι πόλοι απωθούνται αλλά οι όμοιοι τείνουν να έλκονται. Με ένα απλό πείραμα με δύο μαγνήτες βλέπουμε ότι όταν τους κρατάμε με διαφορετικούς πόλους απωθούνται αλλά αν τους αφήσουμε θα ενωθούν. Αυτό δείχνει ότι η αιώρηση δεν έχει σταθερότητα και κρατάει πάρα πολύ λίγο. Το θεώρημα Earnshaw δείχνει ακριβώς αυτό, δηλαδή ότι η αιώρηση μεταξύ δύο μόνιμων μαγνητών είναι αδύνατη.

Κεφάλαιο 5 : Το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης

Έχει οριστεί, για τον υπολογισμό της αιώρησης, ο τύπος της μαγνητικής πίεσης

$$P_{\text{mag}} = B^2 / 2\mu_0, \text{ όπου}$$

P_{mag} = δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας (σε **Pascal, Pa**)

B = (σε **Tesla, T**)

μ_0 = διαπερατότητα του κενού ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$)

Η ιδιότητα αυτή της μαγνητικής αιώρησης, χρησιμοποιείται στην κίνηση σε τρένα μαγνητικής αιώρησης, για ανέπαφη τήξη, μαγνητικά έδρανα και ανάδειξη προϊόντων.

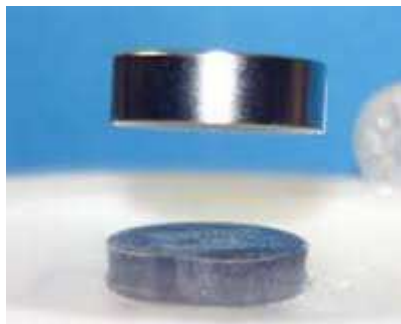
Βάση του θεωρήματος του Samuel Earnshaw είναι αδύνατο να επιτευχθεί σταθερότητα στην αιώρηση μόνο με μαγνητικά υλικά. Με ένα απλό παράδειγμα τοποθέτησης δύο μαγνητών τον ένα πάνω από τον άλλο μπορούμε να δούμε την αστάθεια της αιώρησης. Παρ' όλα αυτά μπορεί να επιτευχθεί σταθερότητα της αιώρησης με δύο τρόπους: Τη στατική και τη δυναμική.

Στατική είναι όταν και η παραμικρή μετατόπιση από τη θέση ισορροπίας, θα προκαλέσει μια συνισταμένη δύναμη που θα επαναφέρει το σύστημα σε θέση ισορροπίας. Δηλαδή να επιτευχθεί σταθερότητα με φυσικό τρόπο. Κάποια διαμαγνητικά υλικά, λόγω της μαγνητικής διαπερατότητάς τους, που είναι κάτω από ένα, μπορούν να αιωρηθούν μόνοι τους.

Δυναμική είναι όταν το σύστημα μπορεί να αποσβένει τις μετατοπίσεις κρατώντας έτσι το μαγνήτη στον αέρα. Αυτό δεν μπορεί να γίνει με φυσικό τρόπο. Για να επιτευχθεί σταθερότητα χρησιμοποιούνται μηχανισμοί απόσβεσης. Οι σερβομηχανισμοί κάνουν τη διαδικασία της απόσβεσης με μηχανικό τρόπο. Συστήματα που χρησιμοποιούν ρεύμα Φουκό για απόσβεση με τη χρήση επαγωγικού μετάλλου επηρεαζόμενο από μαγνητικό πεδίο. Τέλος με αποσβεστήρες που ρυθμίζουν τη μάζα στο αιωρούμενο μέταλλο και ηλεκτρομαγνήτες που ελέγχονται ηλεκτρονικά.

Στην πειραματική διαδικασία θα χρησιμοποιηθεί δυναμικό σύστημα, χάρις το οποίο θα γίνει προσπάθεια ώστε να αποσβένονται οι μετατοπίσεις, με χρήση ηλεκτρονικού κυκλώματος, που θα διατηρεί το αντικείμενο στον αέρα, μετρώντας τις αλλαγές τάσης, λόγω της κίνησης του αντικειμένου.

5.3 Μέθοδοι αιώρησης



Εικόνα 5.3.1 Ψευδοαίωσηση

Αρχικά έχουμε την μέθοδο της ψευδοαίωσης. Για να πετύχει πρέπει απλά να βάλεις κάποιον μηχανικό περιορισμό στους μαγνήτες ώστε να μην μπορούν να επανέλθουν στο σημείο ισορροπίας. Ένας απλός τρόπος είναι να τους βάλεις μέσα σε έναν κύλινδρο ή να του κρατάς σε απόσταση ενώ έλκονται.

Με **σερβομηχανισμούς** που χρησιμοποιούνται για σταθερότητα της αιώρησης. Η έλξη σε ένα μαγνήτη είναι ασταθής γιατί επηρεάζεται από την απόσταση. Έτσι χρειάζεται ένα σύστημα το οποίο θα μετρήσει τη θέση και την ταχύτητα του αντικειμένου και χρησιμοποιώντας ένα βρόγχο ανάδρασης να ενεργοποιεί τους κατάλληλους ηλεκτρομαγνήτες ώστε να το επαναφέρει στη σωστή θέση. Χρησιμοποιείται στα μαγνητικά τρένα για διατήρηση των επαφών του τρένου στην κατάλληλη απόσταση από τις ράγες.

Με **επαγωγικά ρεύματα** που χρησιμοποιούν τον κανόνα το Lenz, ο οποίος λέει ότι τέτοια ρεύματα έχουν φορά αντίθετη από το αίτιο που τα προκαλεί. Έτσι αν σε έναν αγωγό εμφανιστεί χρονικά μεταβαλλόμενο ρεύμα σε μαγνητικό πεδίο, τότε μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να αποκτήσει απωστικές ιδιότητες. Έχει δύο εφαρμογές που θα αναφέρω παρακάτω.

Με τη **σχετική κίνηση μεταξύ αγωγών και μαγνητών** μπορεί να επιτευχθεί μαγνητική αιώρηση. Αν μετακινήσουμε μια μεταλλική βάση, από πολύ καλό αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος, που βρίσκεται κοντά σε ένα μαγνήτη, τότε θα δημιουργηθεί δινορεύμα στη βάση αντίθετο στο πεδίο του μαγνήτη, που αιωρείται, και θα τον απωθεί επίσης στην αντίθετη κατεύθυνση κίνησης της βάσης. Με πολύ υψηλό ρυθμό κίνησης του ρεύματος ο μαγνήτης μπορεί να σηκώσει το μέταλλο ή και το αντίθετο. Χρησιμοποιείται στην αιώρηση και σταθεροποίηση γυροσκοπίων, ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών.

Κεφάλαιο 5 : Το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης

Με τη μέθοδο των ταλαντευόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Αν ένας αγωγός διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα τότε μπορεί να ανυψωθεί από έναν ηλεκτρομαγνήτη ή και αντίστροφα. Εδώ δεν γίνεται να χρησιμοποιηθούν σιδηρομαγνητικά υλικά γιατί έχουν πολύ υψηλή ειδική αντίσταση και δημιουργούν πολύ χαμηλά δινορεύματα που σημαίνει αδύναμη χρήση του φαινομένου.

5.4 Διαμαγνητικά σταθεροποιημένη αιώρηση

Η **διαμαγνητικά σταθεροποιημένη αιώρηση** καταργεί το θεώρημα Earnshaw. Αυτό συμβαίνει διότι οι διαμαγνήτες έχουν μαγνητική διαπερατότητα μ_0 κάτω από ένα και δημιουργούν μαγνητικό πεδίο αντίθετο από το εξωτερικό οπότε μπορεί να σταθεροποιηθεί μια αιώρηση δύο διαμαγνητών.

Διαμαγνητισμός είναι ένα φαινόμενο κβαντικής μηχανικής, που παρουσιάζουν όλα τα υλικά, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, που λόγω της χαμηλής μαγνητικής διαπερατότητάς τους, μπορούν να απωθούν τα μαγνητικά πεδία. Είναι ασθενές φαινόμενο, αλλά οι υπεραγωγοί μπορούν να απωθούν πλήρως μαγνητικά πεδία. Το ακριβώς αντίθετο λέγεται **παραμαγνητισμός** και λόγω της μαγνητικής διαπερατότητάς τους που είναι λίγο πάνω από ένα έλκουν μαγνητικά πεδία.

Όλα τα υλικά είναι διαμαγνητικά, αλλά στα περισσότερα οι παραμαγνητικές ή σιδηρομαγνητικές ιδιότητες είναι πιο ισχυρές, με αποτέλεσμα μια ασταθή αιώρηση. Σε αυτά όμως που οι διαμαγνητικές ιδιότητες είναι ισχυρές μπορούν να σηκώσουν υλικά όπως σταγόνες από νερό, κάποιο μικρό ζώο όπως ποντίκι και ελαφριά κομμάτια από πυρολιτικό μαγνήτη ή βισμούθιο. Ένα πρόβλημα εδώ είναι ότι χρειάζονται ισχυρά μαγνητικά πεδία και υπάρχει πρόβλημα έλξης από σιδηρομαγνητικά υλικά αν βρίσκονται κοντά.

Το ελάχιστο όριο για αιώρηση είναι $\mathbf{B}(dB/dz)=\mu_0 * \rho*(g/x)$ όπου:

\mathbf{B} = μαγνητικό πεδίο

μ_0 = μαγνητική διαπερατότητα υλικού

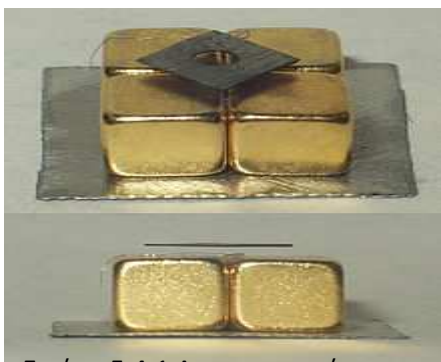
ρ = πυκνότητα του υλικού

g = τοπική επιτάχυνση της βαρύτητας

Κεφάλαιο 5 : Το φαινόμενο της μαγνητικής αιώρησης

χ = μαγνητική επιδεκτικότητα (δείχνει εάν ένα υλικό έλκεται ή απωθείται)

$\frac{dB}{dz}$ = ρυθμός μεταβολής του μαγνητικού πεδίου στον κάθετο άξονα



Εικόνα 5.4.1 Διαμαγνητική αιώρηση με υπεραγωγό

Οι **υπεραγωγοί** όπως ανέφερα είναι οι τέλει διαμαγνήτες με τις πιο ισχυρές απωστικές ιδιότητες, αλλά χρειάζονται και ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Μπορούν λόγω του φαινομένου Meissner να απαλείφουν τα μαγνητικά πεδία. Δηλαδή οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου θα παραμεριστούν και θα κινούνται γύρω από τον υπεραγωγό.

Ένας **μαγνήτης ή μια συστοιχία μαγνητών** σε σχήμα δακτυλίου, μπορεί να αιωρηθεί πάνω από έναν άλλο μαγνήτη σε σχήμα δακτυλίου. Αυτό συμβαίνει διότι ένα δακτυλοειδές πεδίο μπορεί να αιωρηθεί πάνω από ένα δακτυλοειδές πεδίο εφόσον σταθεροποιηθεί γυροσκοπικά μέσω της περιστροφής.

5.5 Επίλογος

Η ιδέα του φαινομένου της μαγνητικής αιώρησης είναι απλή, αλλά η σταθεροποίηση της είναι μια πρόκληση. Ενώ υπάρχουν υλικά, που την πραγματοποιούν σε μικρή κλίμακα, εκ του φυσικού, σε πραγματικά επίπεδα, χρειάζονται κατάλληλα συστήματα, όπου θα διατηρούν τη λειτουργία του φαινομένου, όσο χρειάζεται.

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετηθεί η λειτουργία των τρένων μαγνητικής αιώρησης, και θα συγκριθούν με συμβατικά τρένα και αεροπλάνα.

6.2 Μαγνητικά Τρένα



Εικόνα 6.2.1 Τυπικό μαγνητικό τρένο

Η τεχνολογία της μαγνητικής αιώρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μεταφορές και ειδικά στα τρένα. Τα **τρένα μαγνητικής αιώρησης ή maglev** χρησιμοποιούν δύο ζευγάρια μαγνητών, ένα για την σταθερότητα και ταχύτητα και ένα για την ανύψωση και προώθηση του τρένου, που βασίζεται στην ανυπαρξία της τριβής μεταξύ των γραμμών και της βάσης του τρένου. Το τρένο αυτό δεν έχει κινητά μέρη καθώς αιωρείται πάνω σε ένα σύστημα μαγνητών. Φυσικά αυτό έρχεται σε αντίθεση με το γεγονός ότι το σύστημα αιώρησης κίνησης αποτελείται από πολλές δεκάδες ηλεκτρικά εξαρτήματα ανά βαγόνι. Τα τρένα αυτά μπορούν να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες, που συμπεριλαμβάνονται σε μια λίστα ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Για κάποια

Κεφάλαιο 6: μαγνητικά τρένα και πως λειτουργούν

μέτρια απόσταση μπορούν να ξεπεράσουν ακόμα και αεροπλάνα καθώς και αλλά συμβατικά τρένα υψηλών ταχυτήτων.

Μπορούν να επιβραδύνουν και να επιταχύνουν πιο γρήγορα από τα συμβατικά τρένα, με μοναδικό περιορισμό την ασφάλεια και άνεση των επιβατών. Τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, σε ποσοστά, την πραγματοποιεί για να ξεπεράσει την αντίσταση του αέρα, που αντιστέκεται στην κίνηση, ενώ η λιγότερη δίνεται για ανύψωση. Η κατασκευή συστημάτων μαγνητικής αιώρησης είναι αρκετά ακριβή σε σχέση με τα συστήματα συμβατικών τρένων, αλλά είναι πιο απλά στην κατασκευή και συντήρησή τους.

Το **1940** ο ηλεκτρολόγος μηχανικός **Eric Roberts Laithwaite** κατασκεύασε το πρώτο λειτουργικό μοντέλο γραμμικού επαγωγικού κινητήρα, που βοήθησε στην αναβάθμιση των μεταφορών. Αργότερα το **1974** μαζί με τον **Frederic Eastham** κατασκεύασε το μαγνητικό ποτάμι, ένα σύστημα ηλεκτροδυναμικής μαγνητικής αιώρησης, που επέτρεπε στον γραμμικό επαγωγικό κινητήρα να προκαλεί αιώρηση και κίνηση, επιτρέποντας τη δημιουργία συστήματος μαγνητικής αιώρησης πάνω σε μια διάταξη μαγνητών.

6.3 Τεχνολογικά συστήματα maglev

Υπάρχουν δύο είδη τεχνολογίας maglev που χρησιμοποιούνται η **ηλεκτρομαγνητική** και **ηλεκτροδυναμική** αναστολή.

Στα συστήματα **ηλεκτρομαγνητικής αναστολής**, το τρένο αιωρείται πάνω από μεταλλικές ράγες, με ηλεκτρομαγνήτες που βρίσκονται συνδεδεμένοι στα πλαϊνά του τρένου, μέσα σε δύο βραχίονες σε σχήμα c. Η μαγνητική έλξη είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης, οπότε μια απόκλιση απόστασης από τις ράγες, παράγει μεγάλο εύρος μαγνητικών δυνάμεων.

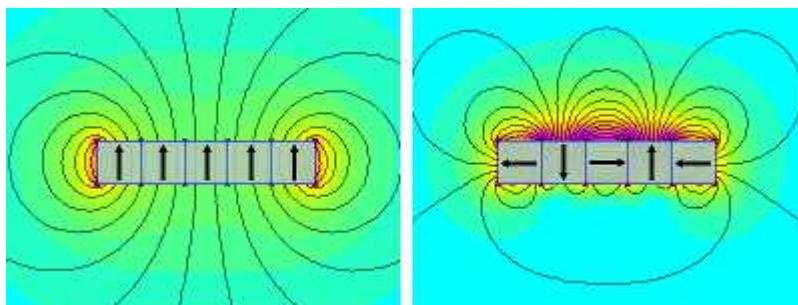
Οι δυνάμεις αυτές είναι **δυναμικά ασταθείς**, δηλαδή σταδιακά τείνουν να μετακινήσουν το τρένο από τη θέση ισορροπίας με κίνδυνο εκτροχιασμού. Για το λόγο αυτό, απαιτούνται ειδικά συστήματα ανατροφοδότησης για να το διατηρούν στη θέση ισορροπίας. Μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλες τις ταχύτητες και δεν χρειάζονται επιπλέον συστήματα που απλοποιεί τις διατάξεις τους.

Κεφάλαιο 6: μαγνητικά τρένα και πως λειτουργούν

Στα συστήματα **ηλεκτροδυναμικής αναστολής**, το τρένο αλλά και οι ράγες δημιουργούν μαγνητικό πεδίο. Το τρένο αιωρείται χάρις τις ελκτικές και απωστικές δυνάμεις των πεδίων αυτών. Το μαγνητικό πεδίο παράγεται από **υπεραγωγικούς μαγνήτες - JR-maglev** ή μόνιμους μαγνήτες όπως στο **inductrack** (επαγωγική γραμμή).

Το **inductrack** είναι ένα παθητικό ηλεκτροδυναμικό σύστημα, με μικρή πιθανότητα σφάλματος, που χρησιμοποιεί μη τροφοδοτούμενα σύρματα στις ράγες και μόνιμους μαγνήτες κάτω από το τρένο σε τοποθέτηση πινάκων **halbach**.

Ο πίνακας **halbach** είναι μια ειδική τοποθέτηση μόνιμων μαγνητών, ώστε να μετατρέπουν το μαγνητικό πεδίο τους στο μέγιστο στη μία πλευρά και περίπου στο μηδέν στη άλλη που επιτυγχάνεται με περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στην ουσία ακυρώνουν το μαγνητικό πεδίο στη μία πλευρά για να ενεργεί μόνο στην άλλη.



Εικόνα 6.3.1 Πίνακας Halbach

Στο σύστημα **inductrack**, όταν οι μαγνήτες, σε σχηματισμό πινάκων **halbach**, περάσουν πάνω από τους βρόγχους συρμάτων, τυλιγμένα σε σπείρες, οι ημιτονοειδής κυματώσεις προκαλούν τάση στις σπείρες.

Στις χαμηλές ταχύτητες, η αντίσταση των βρόγχων μεγαλώνει και τα επαγόμενα ρεύματα αυξάνονται εκεί που αλλάζει το μαγνητικό πεδίο γρήγορα προκαλώντας μια μικρή ανύψωση. Η σύνθετη αντίσταση του πηνίου αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα, ξεπερνώντας τη συγκεντρωμένη σύνθετη αντίσταση. Αυτό προκαλεί συγχρονισμό των σημάτων του επαγόμενου ρεύματος της γραμμής και των μαγνητών του τρένου. Έτσι η γραμμή δημιουργεί δικό της μαγνητικό πεδίο την κατάλληλη στιγμή απωθήσει τους μαγνήτες στο τρένο και να το ανυψώσει. Τα

κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές είναι τύπου RL και συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Υπάρχουν τρία είδη διατάξεων: το **inductrack I**, που πιάνει μεγάλες ταχύτητες, το **inductrack II**, που μπορεί να πιάνει μικρές ταχύτητες και το **inductrack III** για μεταφορά φορτίων σε μικρές ταχύτητες.

Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι η αντίσταση του αέρα ενισχύει το σύστημα και δεν χρειάζονται ειδικό σύστημα ανατροφοδότησης.

Το μειονέκτημα είναι πως για να προκληθεί η ανύψωση χρειάζεται συγκεκριμένη ταχύτητα οπότε μέχρι να αποκτηθεί το τρένο πρέπει να κινείται με ρόδες, αλλά και όταν ελαττώσει ταχύτητα πάλι πρέπει να προσγειωθεί στις ρόδες μέχρι να σταματήσει.

6.4 Τεχνολογικές βελτιώσεις των συστημάτων των μαγνητικών τρένων

Δύο είναι οι τεχνολογικές βελτιώσεις στις παραπάνω κατηγορίες:

Η πρώτη αφορά συστήματα ηλεκτρομαγνητικής αναστολής. Πρόκειται για την τεχνολογία που ονομάζεται vactrain. Έχει τη δυνατότητα να απαλείφει την αντίσταση του αέρα αυξάνοντας την ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει γιατί το τρένο κινείται μέσα σε εκκενωμένους σωλήνες, κλεισμένους και χωρίς να υπάρχει μέσα αέρας. Το μόνο μειονέκτημα είναι η πιθανότητα αποσυμπίεσης της καμπίνας, οπότε πρέπει να υπάρχει ειδικό σύστημα ασφάλειας για άμεση συμπίεση της και για περισσότερη ευκολία να βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια.



Εικόνα 6.4.1 Vactrain

Κεφάλαιο 6: μαγνητικά τρένα και πως λειτουργούν

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τη συνύπαρξη μαγνητικών και συμβατικών τρένων στην ίδια γραμμή. Η τεχνολογία ονομάζεται magrail και στοχεύει στην οικονομικότερη δημιουργία γραμμών για μαγνητικά τρένα καθώς και στη μετάβαση σε αυτά.

6.5 Σύγκριση Μαγνητικών Τρένων με Συμβατικά και Αεροπλάνα



Εικόνα 6.5.1 Τυπικό Τραίνο μαγνητικής αιώρησης



Εικόνα 6.5.2 Τυπικό συμβατικό τραίνο

Σε σχέση με τα συμβατικά τρένα, όσον αφορά τη ταχύτητα είναι πιο γρήγορα αλλά υπάρχουν και πειραματικά συμβατικά με ίσες ταχύτητες. Έτσι το σύστημα ελέγχου είναι αυτόματο, καθώς οι χειριστές δεν μπορούν να αντιδράσουν κατάλληλα στις μεγάλες ταχύτητες. Δύο πυργίσκοι, που μεταδίδουν μικροκυματικά σήματα, επικοινωνούν με το τρένο κάθε στιγμή.

Η συντήρηση των γραμμών και οχημάτων μαγνητικών τρένων είναι πολύ φθηνότερες και δεν επηρεάζονται από ακραία καιρικά φαινόμενα καθώς δεν ακουμπάνε στις ράγες.

Τα συστήματά τους ζυγίζουν λιγότερο και αυτό επιτρέπει την φόρτωση μεγαλύτερων φορτίων, χωρίς την επιπλέον κατασκευαστική υποστήριξη των συμβατικών.

Παράγουν λιγότερο θόρυβο, καθώς δεν ακουμπάνε τις ράγες και έτσι δεν υπάρχει θόρυβος λόγω τριβής αλλά μόνο από την αντίσταση του αέρα.

Κεφάλαιο 6: μαγνητικά τρένα και πως λειτουργούν

Η αξιοπιστία των μαγνητών παίζει μεγάλο ρόλο, καθώς αυτοί είναι που θα κινήσουν και θα αιωρήσουν το τρένο.

Για να είναι αποτελεσματικοί πρέπει να διατηρούνται κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία τους με συστήματα ψύξης.

Τα μαγνητικά τρένα έχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε ανηφόρες, προσφέροντας διάφορες κατασκευαστικές δυνατότητες.

Οι μεγάλες όμως ταχύτητες κάνουν δύσκολη την κατασκευή γραμμών για διαδρομές με πολλές και μεγάλες στροφές, πράγμα που δεν αποτελεί εμπόδιο για τα συμβατικά τρένα.

Τα συμβατικά τρένα αποδίδουν καλύτερα σε μικρότερες ταχύτητες, αλλά λόγω της μη επαφής με τις ράγες, δέχονται μόνο την τριβή του αέρα και την ηλεκτρομαγνητική τριβή, αυξάνοντας την απόδοση της ενέργειας.



Εικόνα 6.5.3 Τυπικό αεροπλάνο



Εικόνα 6.5.4 Τυπικό τρένο μαγνητικής αιώρησης

Κεφάλαιο 6: μαγνητικά τρένα και πως λειτουργούν

Σε σχέση με τα αεροπλάνα, τα μαγνητικά τρένα έχουν παρόμοια αεροδυναμική κατασκευή. Το ποσοστό της τριβής ανύψωσης των τρένων ξεπερνά αυτό των αεροπλάνων. Αυτό σημαίνει πως το τρένο δεν επιβαρύνεται, ενεργειακά και χρονικά από τη διαδικασία αιώρησης, πράγμα που αυξάνει την αποδοτικότητά τους ανα χιλιόμετρο.

Η τελική ταχύτητα βέβαια, των αεροπλάνων, λόγο του ποσοστού της αεροδυναμικής τριβής σε ταχύτητες πτήσης, ξεπερνούν τα τρένα. Για αποστάσεις μέχρι και 800 χιλιόμετρα, αποτελούν καλύτερο μέσο από τα αεροπλάνα ενώ εξυπηρετούν και ενδιάμεσους προορισμούς.

Δεν επηρεάζονται από τον καιρό, ούτε έχουν καθυστέρηση στο ταξίδι τους λόγω πρωτοκόλλων ασφαλείας, εισιτήρια, απογείωση και προσγείωση.

6.6 Επίλογος

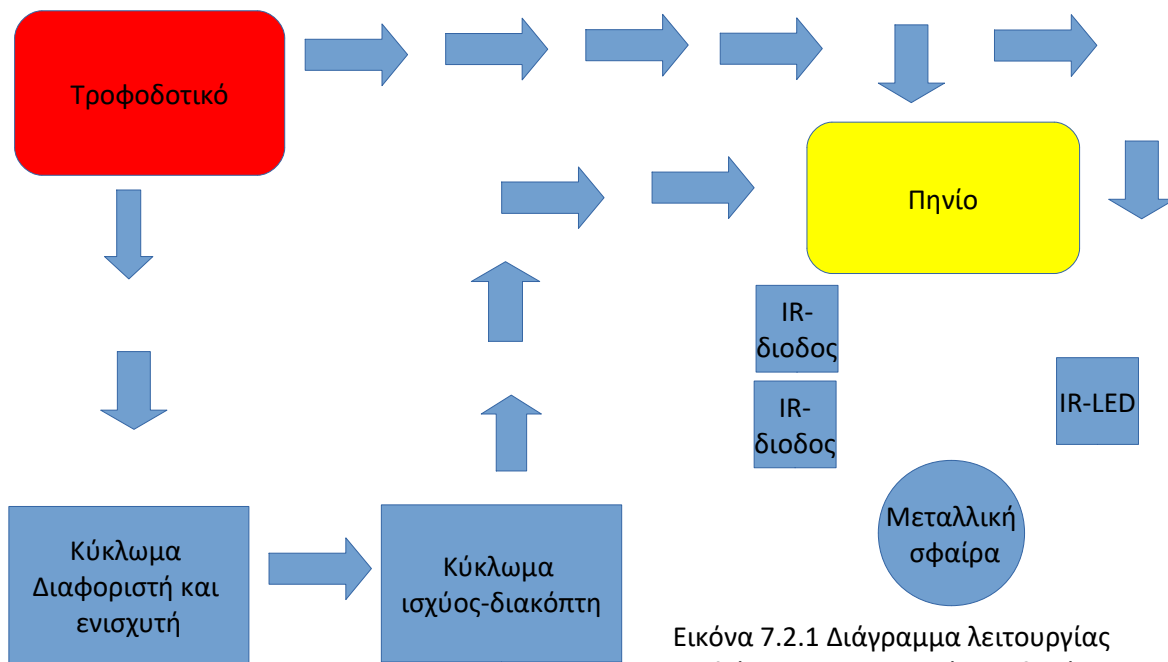
Το συμπέρασμα αυτού του κεφαλαίου είναι πως αν και τα τρένα μαγνητικής αιώρησης έχουν τα πλεονεκτήματά τους απέναντι σε άλλα, εντούτοις είναι, δύσκολο οικονομικά, να αντικατασταθούν τόσα, συστήματα και ράγες που ήδη υπάρχουν. Τα συστήματα που χρειάζονται, για να γίνει η κίνηση, απαιτούν τόσο την αντικατάσταση των ραγών, όσο και των επιμέρους βαγονιών του τρένου από τα οποία αποτελείτε.

7.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει πειραματική κατασκευή της εργασία καθώς και η ανάλυση των επιμέρους κυκλωμάτων, οι υπολογισμοί και οι μετρήσεις αυτών. Θα περιέχονται εικόνες και από το πρόγραμμα PSPICE 16.6.0 και από το εργαστήριο καθώς και το block - διάγραμμα που θα δείχνει τη σκέψη της λειτουργίας του κυκλώματος.

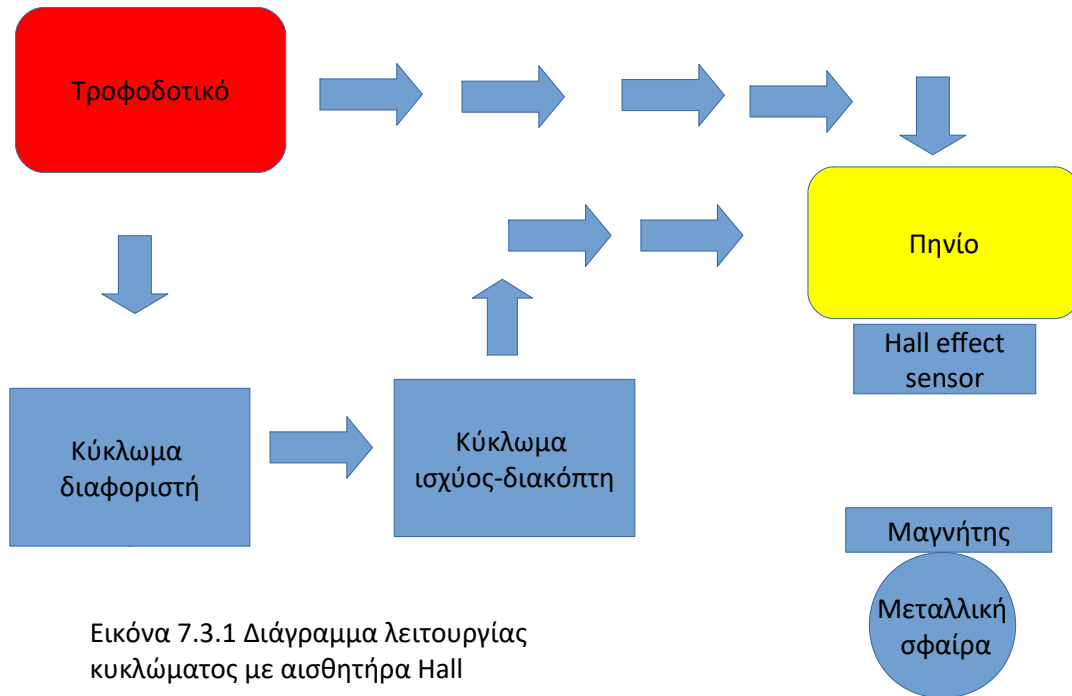
7.2 Διάγραμμα κατασκευής με φωτοαισθητήρα

Στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται η λειτουργία του πρώτου κυκλώματος μαγνητικής αιώρησης. Σε αυτό χρησιμοποιούνται ένα IR-LED και IR- φωτοδίοδος για την εύρεση της τοποθεσίας της σφαίρας. Το τροφοδοτικό δίνει τάση και ρεύμα στο σύστημα, ενώ ο διαφοριστής δέχεται ως είσοδο την τάση των δύο διόδων, για να αποδώσει την διαφορά των δύο τάσεων και μέσω του ενισχυτή να την φέρει στο κατάλληλο ύψος. Η τάση αυτή μέσω του διακόπτη, που ελέγχει το ρεύμα, το πηνίο θα έλξει ή θα απωθήσει τη σφαίρα σε μόλις λίγα ms κάνοντάς την να αιωρηθεί.



7.3 Διάγραμμα κατασκευής με αισθητήρα hall

Σε αυτό το σχεδιάγραμμα είναι το δεύτερο κύκλωμα με τον αισθητήρα Hall. Η σκέψη είναι ίδια μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο αισθητήρας χρειάζεται μόνο έναν μαγνήτη απέναντί του για να μπορέσει να βρει τη θέση του αντικειμένου και να καθορίσει την τάση που θα έχει το πηνίο.



Και τα δύο κυκλώματα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Είναι σχετικά απλά στην κατασκευή και μικρά στο μέγεθος, αλλά αυτό που έχει τη μεγαλύτερη δυσκολία είναι η κατάλληλη τοποθέτηση των αισθητήρων κοντά στο πηνίο.

Και στις δύο περιπτώσεις οι αισθητήρες πρέπει να βρίσκονται σε κατάλληλη απόσταση, όχι μόνο από το LED για το πρώτο και το μαγνήτη για το δεύτερο αλλά και από το πηνίο.

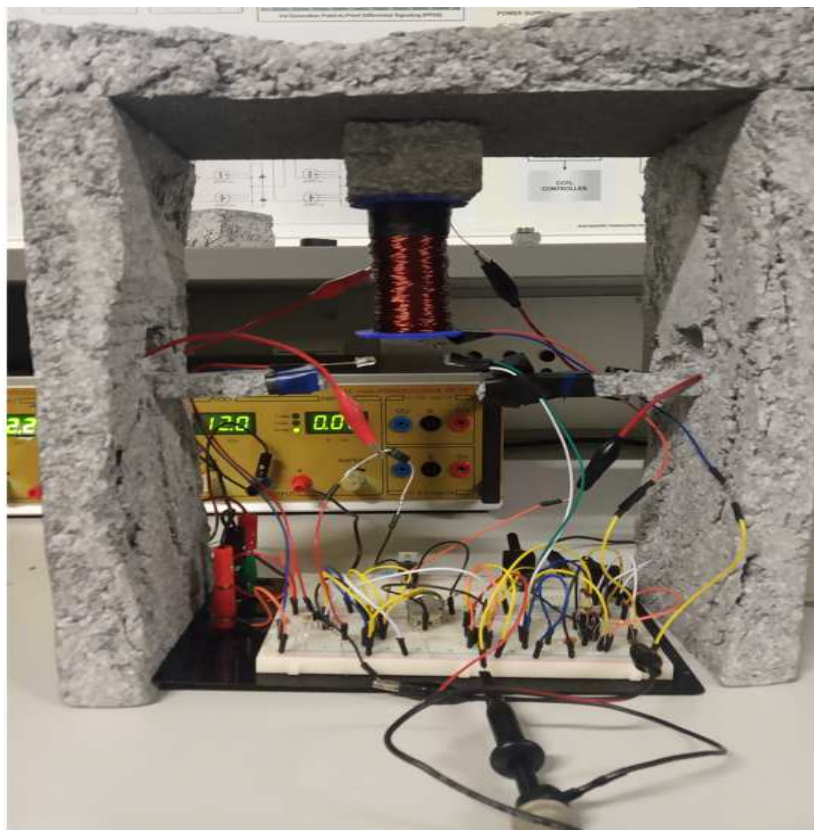
Το πλεονέκτημα του πρώτου συστήματος είναι ότι στο διαφοροποιητή οι τάσεις εισόδου δίνονται από τις διόδους. Οπότε η αλλαγή στις τιμές γίνεται αυτόματα από την κίνηση της σφαίρας. Επίσης οι αισθητήρες δεν επηρεάζονται από το πηνίο. Το μειονέκτημα είναι στη δυσκολία να τοποθετηθούν οι δύο διόδοι έτσι ώστε η μια να επιδέχεται αλλαγές στην τιμή της ενώ η άλλη μικρότερες έως καθόλου.

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Το πλεονέκτημα του δεύτερου συστήματος είναι στην απλότητά του καθώς χρειάζεται είναι αισθητήρα και ένα μαγνήτη, ο οποίος δεν χρειάζεται κάποιο επιμέρους σύστημα για να λειτουργήσει.

Το σύστημα είναι πιο εύκολο από το προηγούμενο, το ίδιο και η τοποθέτηση, ενώ ο μαγνήτης νεοδημίου απέναντι στον αισθητήρα επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις και συνεπώς μικρότερη επιρροή από το πηνίο που είναι και το βασικό μειονέκτημα.

7.4 Κυκλώματα κατασκευής και προσομοιώσεις



Εικόνα 7.4.1
Πανοραμική
φωτογραφία
κατασκευής

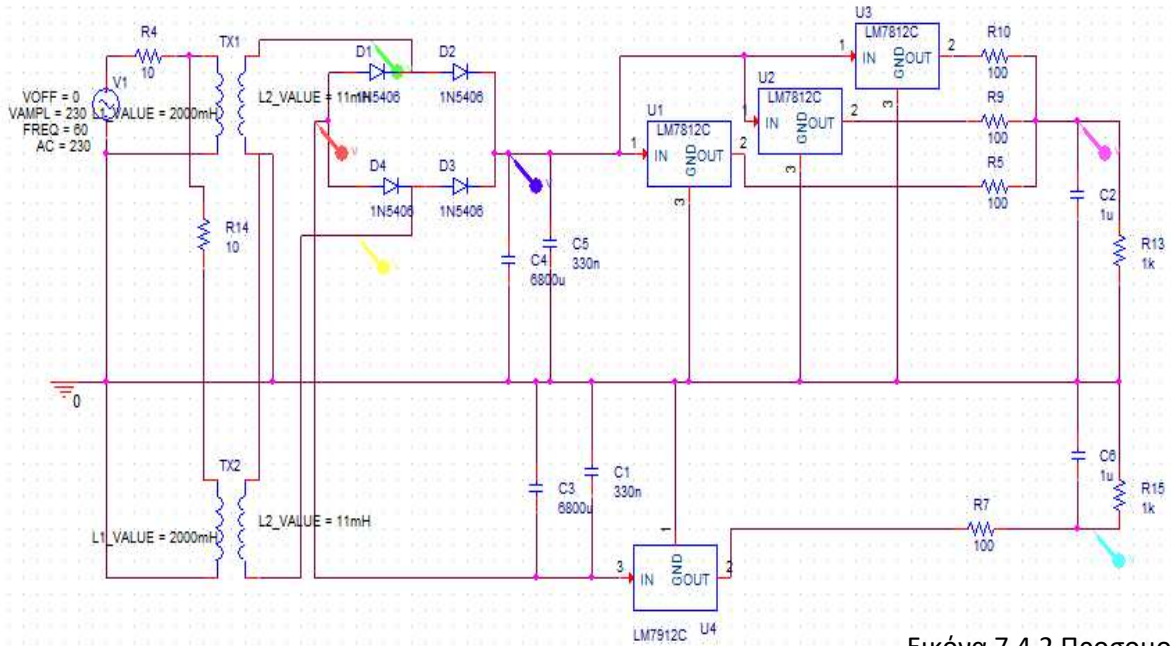
Αρχικά βλέπουμε την πανοραμική θέα της κατασκευής. Το κιβώτιο έγινε από φελιζόλ λόγο της ευκολίας εύρεσης και μορφοποίησης του. Τα καλώδια κολλήθηκαν με μονωτική ταινία, για να είναι εύκολη η τοποθέτηση στην κατάλληλη απόσταση και ευθεία.

Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν τα εξής υλικά:

TL072, LM358N, LM311, LM741, IRF530, 1N5408, 1N4148, 1N4007, BD135, 2N3055, ποτενσιόμετρα 100κΩ-220κΩ, αντιστάσεις 10Ω-150κΩ και πυκνωτές από 10nF-100nF.

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Στο πρώτο σχήμα έχουμε το τροφοδοτικό. Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει τα 230 V της τάσης της πρίζας στα 15.7 V με ημιτονική μορφή. Η γέφυρα από διόδους μετατρέπει αυτή την τάση σε συνεχή ίδιας κορυφής και ο σταθεροποιητής στη συνέχεια στην επιθυμητή τάση



Εικόνα 7.4.2 Προσομοίωση τροφοδοτικού

Γραμμικό τροφοδοτικό με τον σταθεροποιητή LM7812C.

$C4=330\text{nF}$, $C5=1\mu\text{F}$, $F_r=120\text{Hz}$, $V_{\text{ripple(p-p)}}=3.2\text{V}$, $I_o(\text{max})=2.3\text{A}$, $V_{\text{out}}=12\text{V}$

$V_{\text{dc(min)}} = V_{\text{out}} + V_{\text{in(min)}} = 17\text{V}$

$V_{\text{dc(max)}} = V_{\text{dc(min)}} + V_{\text{ripple(p-p)}} = 20.2\text{V}$

$V_{\text{dc}} = (V_{\text{dc(max)}} + V_{\text{dc(min)}}) / 2 = 18.6\text{V}$

$V_{\text{ripple(p-p)}} = I_o(\text{max}) / (F_r * C) \Rightarrow C = I_o(\text{max}) / (F_r * V_{\text{ripple(p-p)}}) = 5.9\text{mF}$

$P_2 = 2V_f * I_o(\text{max}) + V_{\text{dc}} * I_o(\text{max}) = 14.42\text{W}$

$V_{\text{dc(max)}} = \sqrt{2} V_{\text{out transformer}} - 2V_f \Rightarrow V_{\text{out transformer}} = (V_{\text{dc(max)}} + 2V_f) / (\sqrt{2}) = 15.7\text{V}$

$I_{\text{out transformer}} = P_2 / V_{\text{out transformer}} = 0.92\text{A}$, $I_{\text{αγωγής}} = (I_o(\text{max}) / 2) = 0.88\text{a}$

$\eta = P_o / P_2 = 58.2\%$, $P_{\text{loss}} = (V_{\text{dc}} - V_o) I_o(\text{max}) = 4.62\text{W}$, $V_{\text{διασπασης}} = 2 * V_{\text{dc(max)}} = 40.4\text{V}$

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

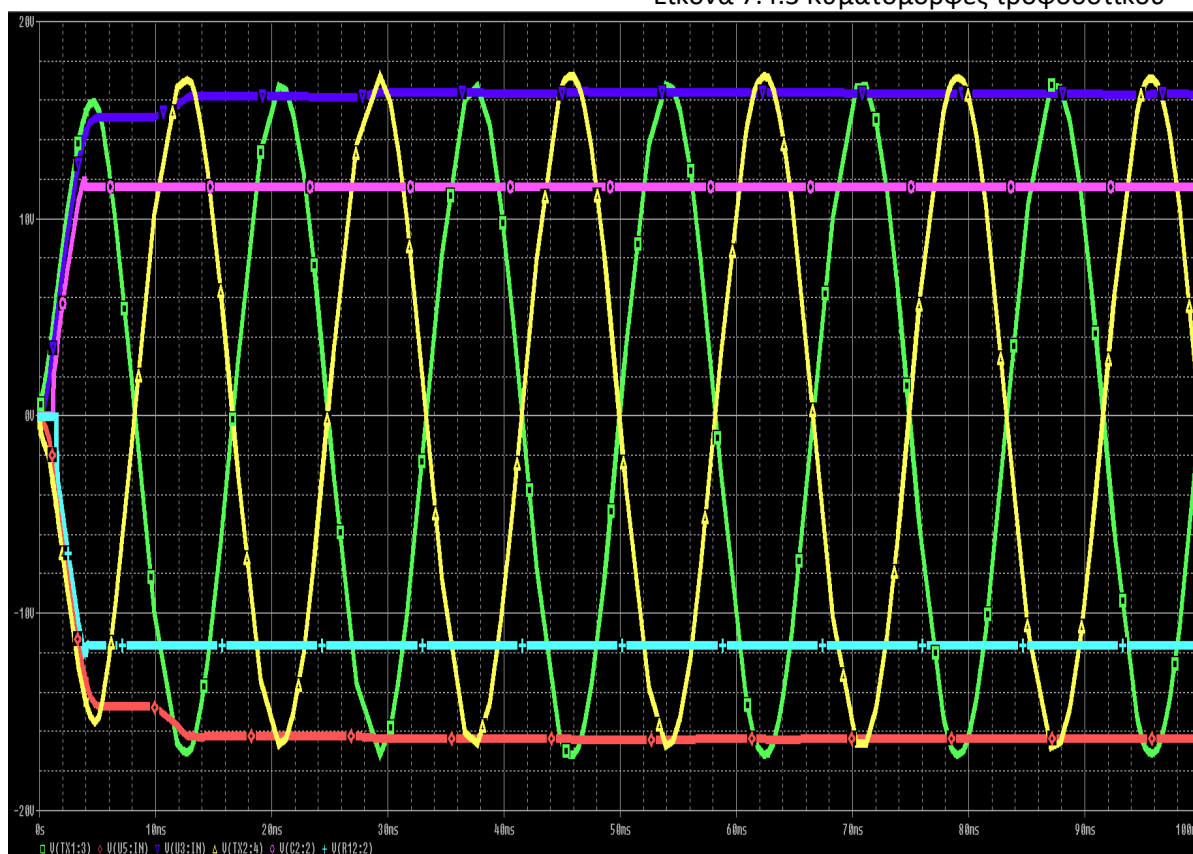
Για την αρνητική τάση ισχύουν οι ίδιοι τύποι με αντίθετο πρόσημο.

Στο ρεύμα δίνει πολύ μικτότερη τιμή από αυτή που έχω στους υπολογισμούς επειδή λόγω του γράμματος C στο σταθεροποιητή, που διευκρινίζει την τιμή του ρεύματος, μόνο τόσο δίνει αλλά δεν έχει άλλο.

Η αντίσταση 10Ω, στο μετασχηματιστή, είναι μόνο για να τρέχει η προσομοίωση.

Παρακάτω είναι οι κυματομορφές της προσομοίωσης του τροφοδοτικού.

Εικόνα 7.4.3 Κυματομορφές τροφοδοτικού



Πράσινο = θετική έξοδος μετασχηματιστή, **Κίτρινο** = αρνητική έξοδος μετασχηματιστή

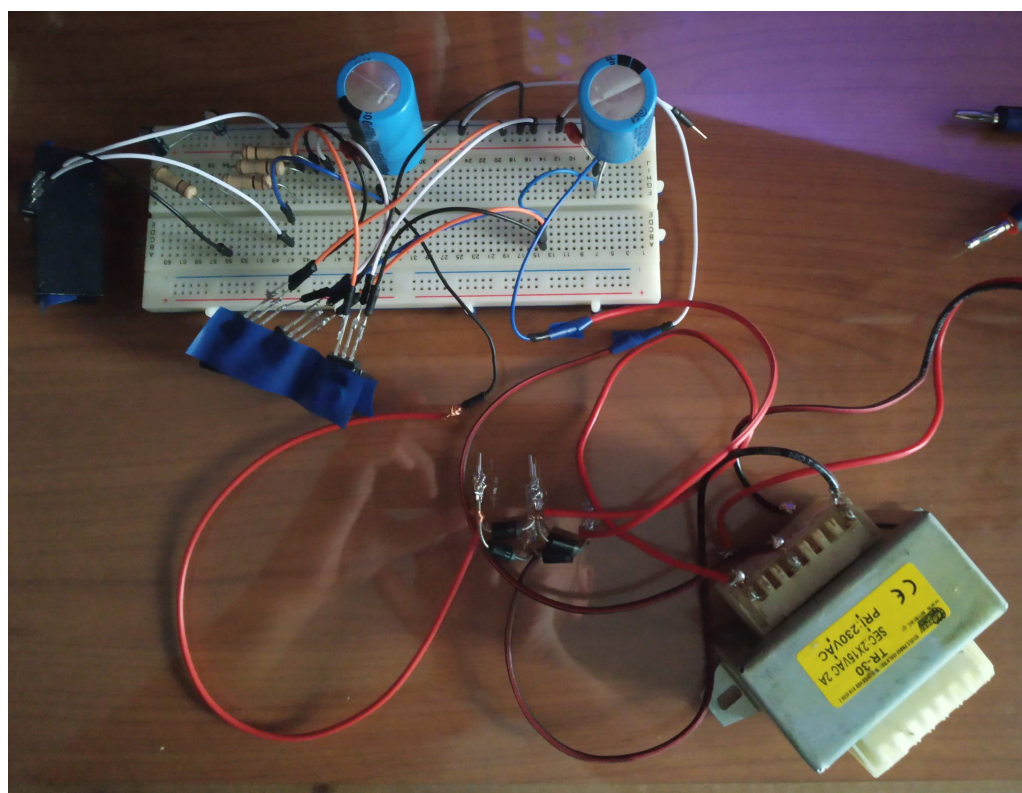
Κόκκινο = αρνητική έξοδος γέφυρας, **Μπλε** = θετική έξοδος γέφυρας

Ροζ = θετική έξοδος σταθεροποιητή, **Γαλάζιο** = αρνητική έξοδος σταθεροποιητή

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Πίνακας 7.4.1 Πίνακας τιμών κορυφής τροφοδοτικού

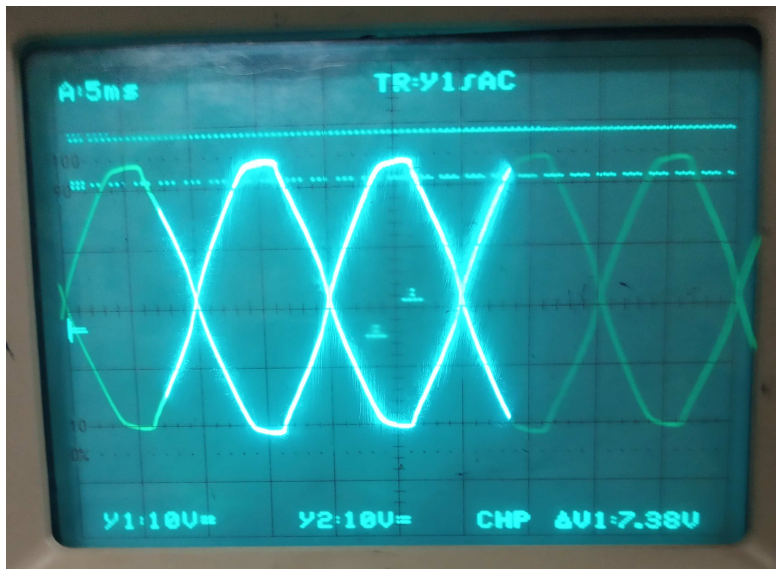
	X Values	20.843m	0.000	20.843m		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
CURSOR 1,2	V(TX1:3)	16.662	-745.4E-21	16.662		0.000	0.000	16.662	-745.4E-21	8.3310
	V(U5:IN)	-16.236	-442.876m	-15.793		-32.898	-442.876m	-442.876m	-16.236	-8.3394
	V(U3:IN)	16.199	328.420p	16.199		-463.000m	328.420p	16.199	328.420p	8.0995
	V(TX2:4)	-16.539	31.496m	-16.571		-33.201	31.496m	31.496m	-16.539	-8.2538
	V(C2:2)	11.593	1.578E-18	11.593		-5.0690	2.323E-18	11.593	1.578E-18	5.7965
	V(R12:2)	-11.609	-129.381n	-11.609		-28.271	-129.381n	-129.381n	-11.609	-5.8045



Εικόνα 7.4.4
Πραγματικό
κύκλωμα
τροφοδοτικού

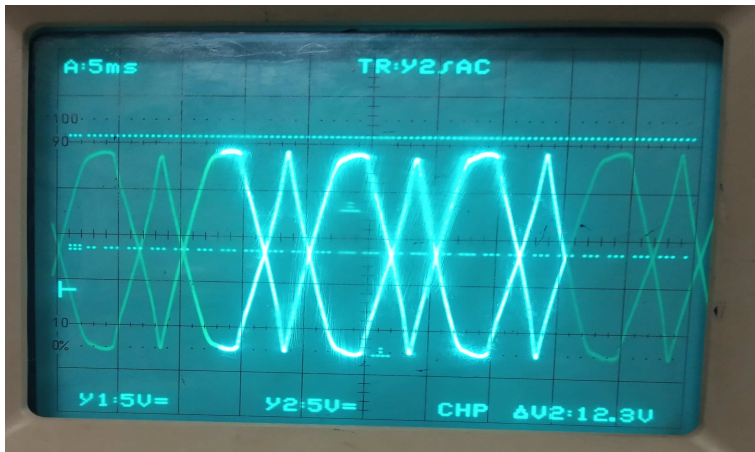
Παραπάνω είναι η φωτογραφία του πραγματικού κυκλώματος του τροφοδοτικού με τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Κάτω δεξιά είναι ο μετασχηματιστής, αριστερά του, ανάμεσα στα καλώδια η γέφυρα , και από πάνω οι πυκνωτές και σταθεροποιητές στις ψήκτρες.

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής



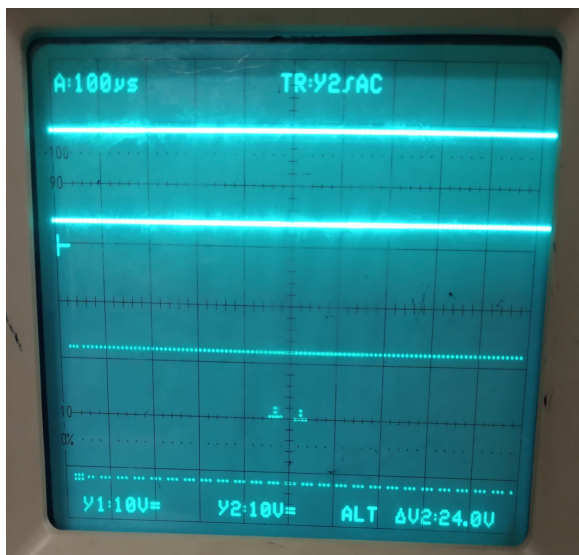
Αριστερά φαίνεται η διαφορική έξοδος του μετασχηματιστή, στον παλμογράφο, σε χρονικό συσχετισμό

Εικόνα 7.4.5 Φωτογραφία διαφορικής εξόδου μετασχηματιστή

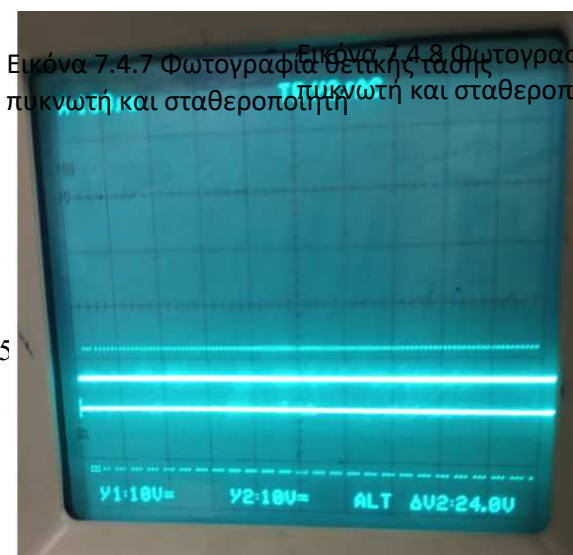


Αριστερά είναι η θετική και αρνητική έξοδος της γέφυρας, στον παλμογράφο, σε χρονικό συσχετισμό.

Εικόνα 7.4.6 Φωτογραφία αρνητικής και θετικής εξόδου γέφυρας



5



Εικόνα 7.4.7 Φωτογραφία αρνητικής τάσης πυκνωτή και σταθεροποιητή
Εικόνα 7.4.8 Φωτογραφία θετικής τάσης πυκνωτή και σταθεροποιητή

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Εικόνα 7.4.9 Προσομοίωση κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες

Το παραπάνω κύκλωμα αποτελεί την προσομοίωση του κυκλώματος με τους οπτικούς αισθητήρες. Αποτελείται από έναν διαφοριστή, για τη μέτρηση της διαφοράς τάσης, μεταξύ των δύο οπτικών δεκτών, ένα φίλτρο εξισορρόπησης της τάσης αυτής και έναν ενισχυτή για την επαναφορά στο αρχικό της επίπεδο.

Ο διακόπτης ισχύος ελέγχει το ρεύμα που θα δοθεί στο πηνίο.

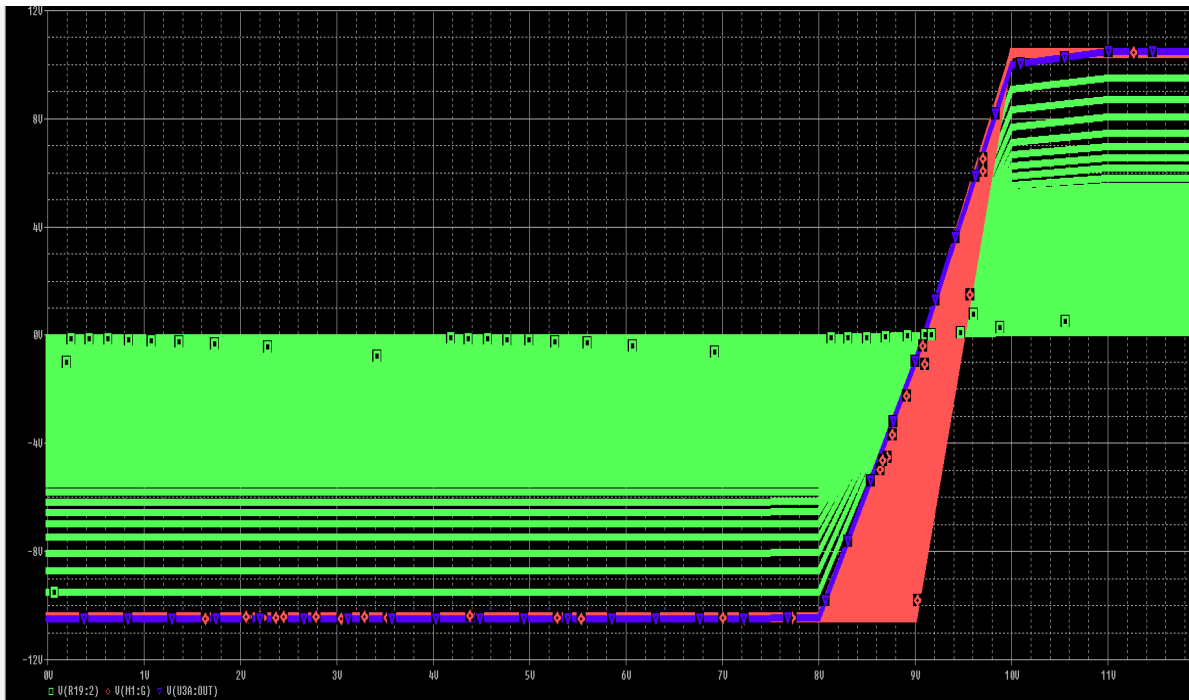
Το ποτενσιόμετρο εδώ δεν κάνει τίποτα, αλλά στο πραγματικό κύκλωμα ρυθμίζει, την τάση, του δεύτερου αισθητήρα, για την επίβλεψη του φαινομένου.

Οι αισθητήρες προσομοιώνονται ως δύο πηγές τάσης συνεχούς ρεύματος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η πρώτη πηγή αλλάζει τάση λόγω της κίνησης του αντικειμένου, ενώ η δεύτερη παραμένει σταθερή ή χάνει λίγη από την τάση, στο πραγματικό κύκλωμα, για τον ίδιο λόγο.

Όταν η πρώτη τάση γίνει μικρότερη από τη δεύτερη, προκαλείται απωθητική δύναμη στο πηνίο, έως ότου το αντικείμενο αποκτήσει, απόσταση κατάλληλη ώστε η πρώτη πηγή να γίνει μεγαλύτερη από τη δεύτερη, για να το έλξει ξανά.

Οι κυματομορφές του παραπάνω κυκλώματος σε DC Sweep της πρώτης πηγής V6 και της αντίστασης R19

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

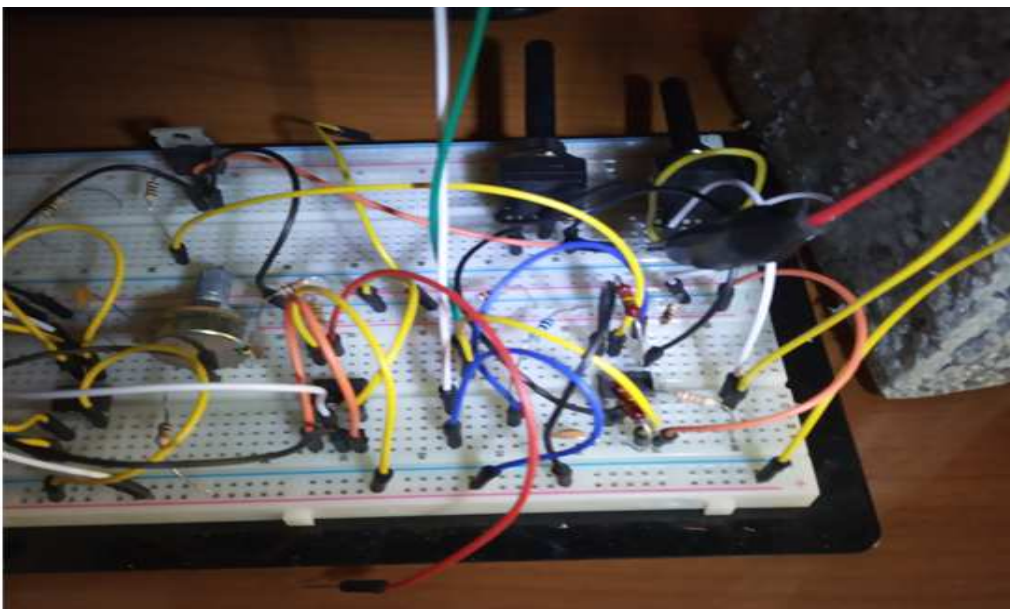


Εικόνα 7.4.10 Κυματομορφές κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες

Μπλε = έξοδος διαφοριστή, Πράσινο = μη αναστρέφουσα είσοδος ενισχυτή, Κόκκινο = είσοδος διακόπτη ισχύος

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	11.228	0.000	11.228
CURSOR 1,2	V(M1:G)	10.477	-10.478	20.955
	V(U3B: +)	9.523	-9.524	19.047
	V(U3A: OUT)	10.475	-10.477	20.952

Πίνακας 7.4.2 Πίνακας τιμών κορυφής Κυκλώματος με οπτικούς αισθητήρες



Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Εικόνα
7.4.11
Πραγματικό
κύκλωμα με
οπτικούς
αισθητήρες

Παραπάνω είναι το πραγματικό κύκλωμα, που φαίνεται στα δεξιά, του ράστερ.



Εδώ είναι το IR- LED
αριστερά, και οι
φωτοдиодοι δεξιά, όπως
είναι τοποθετημένοι κάτω
από το πηνίο.

Εικόνα 7.4.12 Η
τοποθέτηση των Led
κοντά στο πηνίο



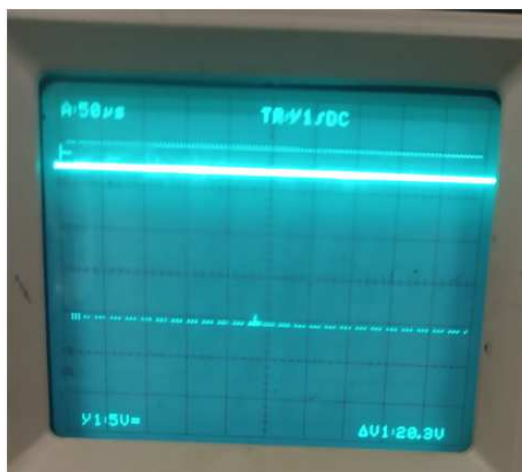
Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Εικόνα 7.4.13 Τιμή του Led από πολύμετρο

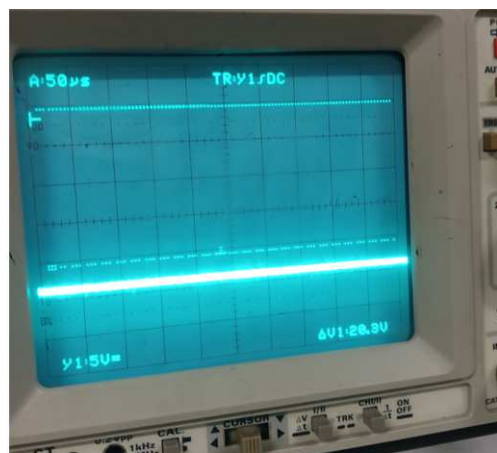
Εικόνα 7.4.14 Τιμή του αισθητήρα μέτρησης από πολύμετρο

Εικόνα 7.4.15 Τιμή του αισθητήρα σύγκρισης από πολύμετρο

Από πάνω φαίνονται οι τιμές στο τμήμα των αισθητήρων όταν δεν υπάρχουν εμπόδια ενδιάμεσα. Αριστερά είναι η τάση του Led, στη μέση η τάση του αισθητήρα μέτρησης και δεξιά η τάση του αισθητήρα σύγκρισης.



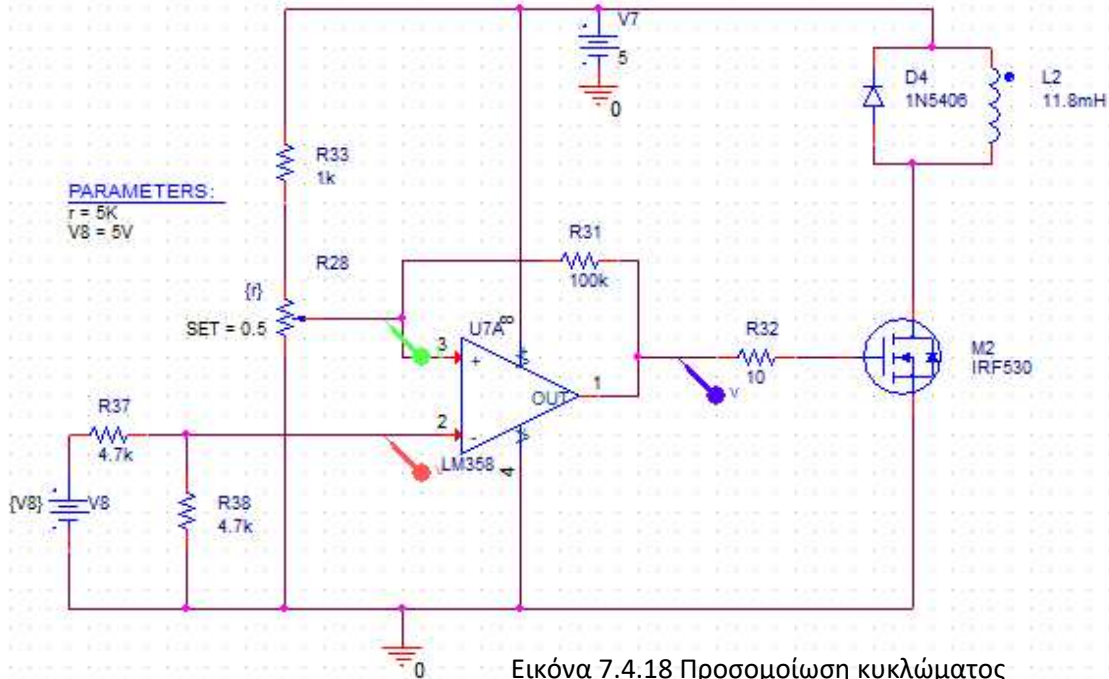
Εικόνα 7.4.16 Φωτογραφία παλμογράφου της τάσης στο διακόπτη όταν το αντικείμενο είναι μακριά από τον αισθητήρα



Εικόνα 7.4.17 Φωτογραφία παλμογράφου της τάσης στο διακόπτη όταν το αντικείμενο είναι κοντά από τον αισθητήρα

Εδώ είναι οι τάσεις στην είσοδο του διακόπτη όταν το αντικείμενο είναι μακριά, από τον αισθητήρα μέτρησης (αριστερά) και όταν μπαίνει ανάμεσα σε αυτόν και το Led (δεξιά).

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής



Εικόνα 7.4.18 Προσομοίωση κυκλώματος με αισθητήρα Hall

Το παραπάνω κύκλωμα αποτελεί την προσομοίωση του συστήματος με αισθητήρα hall. Ο αισθητήρας προσομοιώνεται ως πηγή συνεχούς τάσης. Ο τελεστικός παίζει το ρόλο του διαφοριστή και συγκρίνει τις τάσεις στέλνοντας το σήμα στο διακόπτη ισχύος

Όταν η τάση στο + είναι μεγαλύτερη από το - τότε, η τάση στο διακόπτη ισχύος θα προσδίδει στο πηνίο ρεύμα κατάλληλο ώστε να γίνει έλξη του αντικειμένου. Στην αντίθετη περίπτωση θα ασκήσει δύναμη, ώστε να το απωθήσει.

Η τάση στην μη αναστρέφουσα είσοδο εξαρτάται από την απόσταση του μαγνητή από τον αισθητήρα.

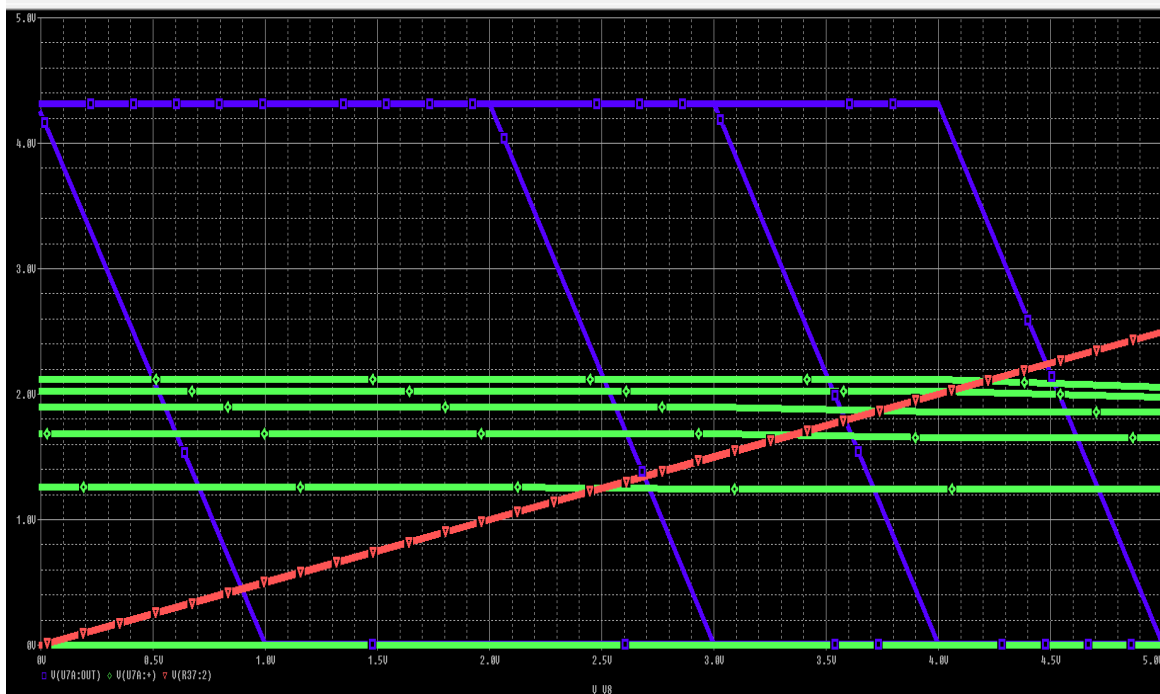
Πίνακας 7.4.3
Πίνακας τιμών
κορυφής του
κυκλώματος με
αισθητήρα Hall

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

Το ποτενσιόμετρο έχει χαρακτήρα ρυθμιστικό για την κατάλληλη τάση διέλευσης από την αναστρέφουσα είσοδο

Το κύκλωμα αυτό μελετήθηκε και σχεδιάστηκε αλλά δεν πραγματοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα, λόγω της αδυναμίας εύρεσης των αισθητήρων. Παρ' όλα αυτά έκρινα αναγκαία την ανάδειξή του, για την μελέτη που έγινε, για τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν και για τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Παρακάτω είναι οι κυματομορφές του κυκλώματος

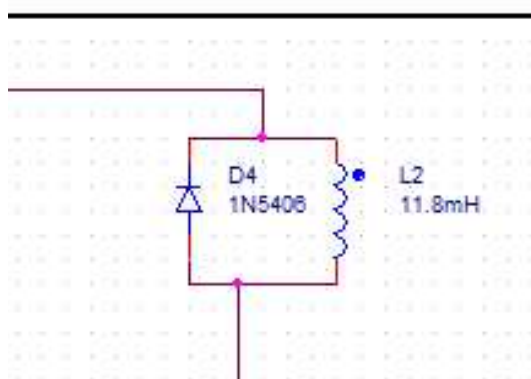


Εικόνα 7.4.19 Κυματομορφές κυκλώματος με αισθητήρα Hall

Μπλε = έξοδος τελεστικού, Πράσινο = μη αναστρέφουσα είσοδος, Κόκκινο = αναστρέφουσα είσοδος

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	3.9972	0.000	3.9972
CURSORS 1:2	V(U7A:OUT)	5.7328m	4.2372	-4.2315
	V(U7A:+)	5.0001u	2.1154	-2.1154
	V(R37:2)	1.9986	106.594u	1.9985

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής



Εικόνα 7.4.20
Προσομοίωση
πηνίου

Εδώ είναι το πηνίο με τη διάοδο προστασίας από αντίθετες τάσεις. Τα χαρακτηριστικά του υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους.

$$\text{Η αυτεπαγωγή του πηνίου είναι ίση με } L = \frac{N^2 * \mu r * \mu 0 * S}{l} = 11.8\text{mH}$$

$\mu r = 5000$, όπου είναι η διαπερατότητα του υλικού του πυρήνα

$N = 750$, όπου είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου

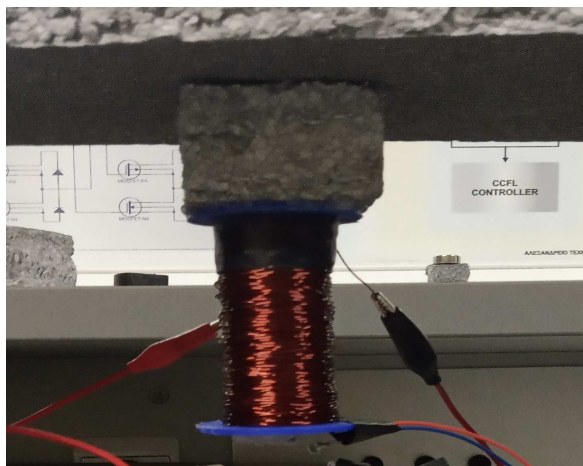
$h1 = 7\text{cm}$, όπου είναι το ύψος του πηνίου

$d1 = 4.5\text{cm}$, όπου είναι η διάμετρος του πηνίου

$h2 = 8\text{cm}$, όπου είναι το ύψος του πυρήνα

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός και υλοποίηση της κατασκευής

$d_2=1\text{cm}$, όπου είναι η διάμετρος του πυρήνα



Εικόνα 7.4.21 Φωτογραφία πραγματικού πηνίου

Αριστερά είναι το πηνίου του πραγματικού κυκλώματος με τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Αφού έγινε το τύλιγμα των σπειρών, οι άκρες κολλήθηκαν, για να μην βγαίνουν και έπειτα κολλήθηκε στην κορυφή μιας ορθογώνιας κατασκευής από φελιζόλ.

7.5 Επίλογος

Και τα δύο συστήματα δοκιμάστηκαν και υλοποιήθηκαν και προσομοιώθηκαν σε αρκετά ικανοποιητικό σημείο. Οι διαφορές κυμαίνονται κυρίως στον αισθητήρα και στο κύκλωμα οδήγησης που πρέπει να είναι κατάλληλο για αυτόν. Έγινε αρκετή δουλειά και παρ' ότι το αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάθρο για μελλοντικές έρευνες.

Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας είναι:

Για το τροφοδοτικό:

Αρχικά χρειάζεται προσοχή στην σωστή τοποθέτηση των πυκνωτών για την αρνητική τάση.

Πρέπει να μουν ανάποδα από ότι για την θετική τάση.

Οι κυματομορφές της γέφυρας είναι όσο καλύτερες γίνεται. Οι δίοδοι ευθύνονται για τις ατέλειες, αλλά δεν είναι απαραίτητα κακό.

Εγώ τοποθέτησα τρεις σταθεροποιητές παράλληλα, για μεγαλύτερο ρεύμα κορυφής, γιατί στην αγορά βρήκα μέχρι δύο αμπέρ. Κάλιστα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας σταθεροποιητής των τριών αμπέρ.

Οι πυκνωτές είναι μεγαλύτεροι γιατί αυτοί υπήρχαν στο εμπόριο ή λίγο μικρότεροι.

Θα μπορούσα να χρησιμοποιήσω πλακέτα για την κόλληση της γέφυρας, θα ήταν πιο εύκολο για τη διαδικασία και συντήρηση.

Για το κύκλωμα με οπτικούς αισθητήρες:

Είναι δύσκολη η τοποθέτηση των αισθητήρων. Η απόσταση και η ευθυγράμμιση από το Led αλλά και η ισχύς του φωτός παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο.

Ο αισθητήρας πρέπει να μπορεί να μετράει το σήμα που δέχεται από ικανοποιητική απόσταση. Συνεπώς η επιλογή του είναι δύσκολη και χρειάζεται δοκιμές

Χρειάζεται κατάλληλη ρύθμιση της τάσης του δεύτερου αισθητήρα, ώστε να δίνει πάντα έστω και λίγο μικρότερη τάση από τον πρώτο, καθώς και στο ενδιάμεσο δικτύωμα για το ύψος της εισόδου στον ενισχυτή. Έτσι ρυθμίζεται η καλή λειτουργία του συστήματος

Η απόδοση είναι καλή, αλλά η αιώρηση εξαρτάται και από το διακόπτη ισχύος, που καθορίζει το ρεύμα και το χρόνο δράσης στο πηνίο. Συνεπώς η επιλογή του είναι κρίσιμη.

Για το κύκλωμα με αισθητήρα hall:

Είναι απαραίτητος ένας μαγνήτης νεοδημίου απέναντι από τον αισθητήρα. Για να γίνει μέτρηση από αυτόν πρέπει ο μαγνήτης να βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση και να έχει την κατάλληλη ισχύ.

Ο αισθητήρας πρέπει να μπορεί να μετράει το σήμα που δέχεται από ικανοποιητική απόσταση. Συνεπώς η επιλογή του είναι δύσκολη και χρειάζεται δοκιμές

Ο αισθητήρας πρέπει να μπορεί να μετράει συνεχώς την απόσταση, αλλάζοντας συνεχώς την τάση στα άκρα του. Έτσι πρέπει να έχει λειτουργία μετρητή και όχι διακόπτη.

Ο ένας συγκριτής που χρειάζεται κάνει το κύκλωμα απλό, ενώ η ρύθμιση της τάσης στη δεύτερη είσοδο μπορεί να γίνει και από δεύτερο αισθητήρα.

Η απόδοση είναι καλή, αλλά η σταθερότητα της αιώρησης εξαρτάται από το διακόπτη ισχύος, που καθορίζει το ρεύμα και το χρόνο δράσης στο πηνίο. Συνεπώς η επιλογή του είναι κρίσιμη.

Η βελτίωση του κυκλώματος εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Άλλοι τελεστικοί, συγκριτές και διακόπτες ισχύος που δεν χρησιμοποιήθηκαν εδώ μπορούν να δώσουν διαφορετικά, έστω και λίγο, αποτελέσματα.

Άλλη βελτίωση είναι με διαφορετικό πυρήνα στο πηνίο, καθώς και διαφορετική τοποθέτησή του. Το υλικό του πυρήνα είναι σημαντικό ως προς τις ελκτικές του ιδιότητες.

Μια ακόμα βελτίωση θα ήταν η χρήση κάποιου άλλου αισθητήρα με παρόμοια σκέψη για την εύρεση της απόστασης από το κύκλωμα.

Βιβλιογραφία

Ιστοσελίδες:

Σελίδες στη ελληνική και αγγλική Wikipedia με τα ανάλογα θέματα

https://el.wikipedia.org/wiki/Τζέιμς_Κλερκ_Μάξγουελ

https://el.wikipedia.org/wiki/Μάικλ_Φαραντέι

<https://el.wikipedia.org/wiki/Θαλής>

https://el.wikipedia.org/wiki/Ζαν-Μπατιστ_Μπιο

https://el.wikipedia.org/wiki/Αντρέ-Μαρί_Αμπέρ

https://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητική_αίωρηση

<https://el.wikipedia.org/wiki/Αντιβαρύτητα>

https://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητικό_τρένο

https://el.wikipedia.org/wiki/Δύναμη_Λόρεντζ

https://el.wikipedia.org/wiki/Νόμος_των_Μπιό-Σαβάρ

https://el.wikipedia.org/wiki/Νόμος_του_Αμπέρ

<https://el.wikipedia.org/wiki/Μαγνητισμός>

https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρομαγνητική_επαγωγή

<https://el.wikipedia.org/wiki/ηλεκτρομαγνητισμός>

https://el.wikipedia.org/wiki/Εξισώσεις_Μάξγουελ

https://el.wikipedia.org/wiki/Αισθητήρας_Hall

[https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_\(physician\)](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Gilbert_(physician))

https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Friedrich_Gauss

https://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Eduard_Weber

https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Curie

https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Weiss

https://en.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb

https://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hall

https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Henry

https://en.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla

https://en.wikipedia.org/wiki/Samuel_Earnshaw

https://en.wikipedia.org/wiki/Curie%27s_law

https://en.wikipedia.org/wiki/Curie%E2%80%93Weiss_law

https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss%27s_law

https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss%27s_law_for_magnetism

https://en.wikipedia.org/wiki/Earnshaw%27s_theorem

<https://en.wikipedia.org/wiki/Maglev>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Vactrain>

https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect

<https://en.wikipedia.org/wiki/Inductrack>

https://en.wikipedia.org/wiki/Halbach_array

<https://en.wikipedia.org/wiki/Compass>

Λοιπές σελίδες:

Design news, Drew Paul, Dec 14, 2017, available: www.designnews.com/gadget-freak/how-build-electromagnetic-levitation-device/29028541657981

Autodesk, inc 2017, available: www.instructables.com/id/Levitron-electromagnetic-Levitation-Device/

Comsol blog, Nirmal Paubel Nov 17,2016, available: www.comsol.com/blogs/how-to-model-electrodynamic-magnetic-levitation-devices/

K&J Magnetics, inc, available: <https://www.kjmagnetics.com/blog.asp?p=electromagnetic-levitation>

Funtamental physics concepts, Λευτέρης καλιαμπός, 25 Ιαν 2017, available https://lefteris-kaliambos.wikia.org/wiki/%CE%9C%CE%91%CE%93%CE%9D%CE%97%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97_%CE%94%CE%A5%CE%9D%CE%91%CE%9C%CE%97,%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A1%CE%99%CE%91

Μουσείο Ηρακλειδών, Αρχαία κινέζικη τεχνολογία, 23 Σεπ 2017, available: <https://www.herakleidon.org/new-blog/china>

Doclayer.gr, Ηρακλής Γ. Δημόπουλος, Νοε 2008, available: <https://docplayer.gr/30957842-Energa-kai-pathitika-filtra-theoria-synthesi-kai-shediasi.html>

Σελίδα εύρεσης Data sheets, available: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?>

Σελίδα εύρεσης εξαρτημάτων του προγράμματος προσομοίωσης Pspice, available: <https://www.pspice.com/model-library/filter?combine=transformer>

Shaun Milano, Allegro MicroSystems, available: <https://www.allegromicro.com/en/insights-and-innovations/technical-documents/hall-effect-sensor-ic-publications/allegro-hall-effect-sensor-ics>

RS everything you need to know about hall effect sensors, available: <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>

Necibe Fusun Oyman serteller, Ιουλιος 2019, Magnetic levitation circuit system: An experimental study,available:https://www.researchgate.net/publication/336770611_Magnetic_Levitation_Circuit_System_An_Experimental_Study

"Magnetism" DISCovering Science. Gale Research, 1996. Reproduced in Discovering Collection. Farmington Hills, Mich.: Gale Group. December, 2000.

Available:<https://www.ucl.ac.uk/EarthSci/people/lidunka/GEOL2014/Geophysics9%20-Magnetism/Useful%20papers/Magnetism.htm>

Διαδικτυακά αρχεία- PDF:

Implementation of a levitation system for the visualization of the magnetic phenomenon

https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_050538.pdf

Magnetic levitation circuit system: An experimental study

<http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42352994.pdf>

Πανεπιστήμιο Κρήτης, προχωρημένα εργαστήρια φυσικής

https://opencourses.uoc.gr/courses/pluginfile.php/16118/mod_resource/content/1/3.%20Exp%20III%20-%20Hall%20Effect.pdf

Η ιστορία του ήλεκτρου και του μαγνήτη

<http://www.clab.edc.uoc.gr/aestit/3rd/contributions/66.pdf>

Ιστορία του μαγνήτη

<http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/magnisia/pr36hi.pdf>

Διπλωματική εργασία, νανοεπιστήμες και νανοτεχνολογίες

<http://ikee.lib.auth.gr/record/287586/files/GRI-2017-18455.pdf>

Πανεπιστήμιο Κρήτης, εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος

https://talos-ts.com/files/PEGA_PYLARINOS.pdf

Ε. Καραγιαννη, αναλογικά κυκλώματα τηλεπικοινωνιών, 2016

[ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ 2014.pdf](#)

Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά φίλτρα, Κ. Ψυχαλίνος, 2005

http://www.hep.upatras.gr/class/download/ile_ana_kik/eisagwgh_hlektronika_filtra.pdf

Βιβλία:

Κ. Καλοβρέχτης- Ν. Κατέβας, Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2013, Θεσσαλονίκη

Albert Malvino- David J. Bates, Ηλεκτρονική, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2014, Θεσσαλονίκη

Ιορδάνης Κιοσκερίδης, Ηλεκτρονικά ισχύος, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2008-2016, Θεσσαλονίκη

Ιορδάνης Κιοσκερίδης, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2017, Θεσσαλονίκη

Stephen J. Charman, Ηλεκτρικές μηχανές, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2013-2018, Θεσσαλονίκη

Αλεξανδρής Αλεξανδρος, Οπτοηλεκτρονική, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2010-2015, Θεσσαλονίκη

Μιχάλης Ν. Σπάσος- Κώστας Θ. Αμοιρίδης, Σύγχρονες εφαρμογές αναλογικών ηλεκτρονικών, Εκδόσεις ΑΙΒΑΖΗ 2015, Θεσσαλονίκη

Μιχάλης Ν. Σπάσος, Ηλεκτρονικές μετρήσεις και οργανολογία, Εκδόσεις ΑΙΒΑΖΗ 2015, Θεσσαλονίκη

Application notes- σημειώσεις εφαρμογών:

Orcad Pspice 16.6

Data sheets- φύλλα δεδομένων:

Freescale, 1n5406 datasheet, Motorola inc 1996

Won Top Electronics, 1n4148 datasheet, fast switching diode 2006

Motorola inc, 2n3055 datasheet, power transistor 1995

Guangdong Kexin industrial co., Ltd, 2n3906 datasheet, pnp transistor

Guangdong Kexin industrial co.,Ltd, 2n3904 datasheet, npn transistor

Texas instruments, lm741datasheet, 1998, operational amplifier

Texas instruments, tlc271 datasheet, 1997, low power programmable operational amplifier

Motorola inc, lm358n datasheet, dual differential operational amplidier 1996

Texas instruments, tl072 datasheet, low noise jfet input operational amplifier 1998

Texas instruments, lm311 datasheet, differential comparator 1973

Motorola inc, irf530 datasheet, N-channel power mosfet

Visay Siliconix, bpw43 datasheet, silicon pin photodiode, 1999

Siemens Semiconductor group, bpw34s datasheet, silicon pin photodiode, 1998

Texas instruments, lm7812 datasheet, 1.5A fixed voltage regulator, 2000

Texas instruments, lm7912 datasheet, 1.5A fixed voltage negative regulator, 1999

Sec Electronics inc, ss49e datasheet, linear hall effect sensor, 2012

Sec Electronics inc, ss495 datasheet, linear hall effect sensor, 2013

Allegro Microsystems, A3144 datasheet, hall effect swich for high temprature, 1993

Βίντεο :

Magnetic levitation 0033mer, 21 Απριλίου 2018, available: <https://www.youtube.com/watch?v=8uBy1EXELzg>

TSP #22- Tutorial and Experiments on Magnetic Levitation, 28 Ιαν. 2013, The signal path, available: <https://www.youtube.com/watch?v=LaGv2FHS5zg>

How does Magnetic Levitation work? Crude Levitator circuit, GreatScott!, 14 Ιαν 2018, available: <https://www.youtube.com/watch?v=BgljlvlwzY>

Magnetic levitation device / The simplest DIY Anti-Gravity device (how to make levitation at home), Electrical Projects [Creative lab], 16 Απρ 2016, available: https://www.youtube.com/watch?v=Ofz_0GsrBmk