

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ»



Φοιτητές

Ομέρ Σεμίχ
Α.Μ.: 514106

Μουμίν Ογλού Σαλή
Α.Μ.: 515090

Επιβλέπων

Μιχαήλ Σπάσος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2022

Τίτλος Π.Ε. «Ανιχνευτής Μετάλλων»

Κωδικός Π.Ε. 20183

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Ομέρ Σεμίχ και Μουμίν Ογλού Σαλή

Όνοματεπώνυμο εισηγητή : Μιχαήλ Σπάσος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε: 04-09-2020

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε: 14-6-2022

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε οι συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Ομέρ Σεμίχ και Μουμίν Ογλού Σαλή που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν 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 των συγγραφέων/δημιουργών, 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 των συγγραφέων/δημιουργών.

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

Πρόλογος

Όταν ήρθαμε σε επαφή για πρώτη φορά με ανιχνευτές μετάλλων, ήταν σαν μαγικό για μια συσκευή να ανιχνεύει ένα μεταλλικό αντικείμενο μέσω μιας αόρατης δύναμης, παρόλο που υπήρχε ένα φυσικό εμπόδιο μεταξύ μεταλλικού αντικειμένου και της συσκευής. Αλλά στην πραγματικότητα δεν υπήρχε τίποτα υπερφυσικό, όλα ήταν μέρος της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Όταν μελετήσαμε τις μεθόδους λειτουργίας των ανιχνευτών μετάλλων διαπιστώσαμε ότι η υλοποίηση μιας τέτοιας συσκευής απαιτούσε γνώσεις σχεδόν από όλα τα μαθήματα που διδαχθήκαμε κατά την διάρκεια των σπουδών. Θέλαμε να υλοποιήσουμε μια τέτοια εργασία για να έχουμε την ευκαιρία να εφαρμόσουμε και να συνθέσουμε όλα όσα μάθαμε και να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα σε πρακτικό επίπεδο. Το παρόν θέμα της πτυχιακής εργασίας αναπτύχθηκε από προσωπική επιθυμία ιδιοκατασκευής και συζήτησης με τον κύριο Μιχαήλ Σπάσο. Στο τέλος αυτής της εργασίας, είχαμε ευκαιρία να συνθέσουμε και να εφαρμόσουμε σε πρακτικό επίπεδο τις γνώσεις μας σε θέματα που καλύπτονται στα μαθήματα «επεξεργασία σήματος», «εφαρμοσμένο ηλεκτρομαγνητισμό» (παρόλο που δεν διδάσκεται πλέον ήταν το μάθημα που αποτελεί τα θεμέλια αυτής της εργασίας), «ηλεκτρονικά 3», «ηλεκτρονικές μετρήσεις», «θεωρία κυκλωμάτων 3», «μικροελεγκτές». Στο τέλος της εργασίας για την υλοποίηση οποιουδήποτε ηλεκτρονικού συστήματος, συνειδητοποιήσαμε πως πόσο απαραίτητα ήταν τα θέματα αυτών των μαθημάτων, που ο κάθε φοιτητής/τρια σε αυτά τα μαθήματα κάνει την ερώτηση «Που θα μας χρησιμεύει στην πραγματική ζωή;». Είμαστε πολύ ευχαριστημένοι που είχαμε την ευκαιρία να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα μιας της εργασίας σε επίπεδο εφαρμογής επίσης χαιρόμαστε που είχαμε την ευκαιρία να ζήσουμε την εμπειρία της δημιουργίας και του σχεδιασμού ενός ηλεκτρονικού συστήματος, που είναι ο κύριος σκοπός ενός μηχανικού. Είμαστε ευγνώμονες σε όλους διδάσκοντες που μας εκπαίδευσαν μέχρι αυτό το επίπεδο.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό τη σχεδίαση και την κατασκευή ενός ανιχνευτή μετάλλων πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF) και εφαρμογή της μεθόδου «ισορροπίας επαγωγής» για την σωστή λειτουργία της κατασκευής.

Στο 1^ο κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες για τους ανιχνευτές μετάλλων και τους τύπους τους. Επεξηγούνται οι μέθοδοι λειτουργίας 3 τύπων ανιχνευτών μετάλλων. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται σύγκριση μεταξύ 3 τύπων ανιχνευτών μετάλλων.

Στο 2^ο κεφάλαιο, εξηγείται αναλυτικότερα η λειτουργία ενός ανιχνευτή μετάλλων VLF και καλύπτονται οι απαιτούμενες θεωρητικές γνώσεις. Δίνονται θεωρητικές γνώσεις για τα μαγνητικά πεδία, την επαγωγή, τα πηνία, τα δινορεύματα και τη μέθοδο «ισορροπίας επαγωγής». Μετά την εξήγηση των τύπων πηνίων και τον τρόπο υπολογισμού τους, εστιάζει στη μέθοδο «ισορροπίας επαγωγής» εξηγείται ο τρόπος τοποθέτησης πηνίων για την επίτευξη της «ισορροπίας επαγωγής». Στο τέλος εξηγούνται οι επιδράσεις ορυκτοποίηση στους ανιχνευτές μετάλλων και με ποιο κριτήριο επιλέγεται η συχνότητα λειτουργίας στους ανιχνευτές μετάλλων.

Στο 3^ο κεφάλαιο εξηγείται το μπλοκ διάγραμμα της κατασκευής. Η απαιτούμενη συχνότητα λειτουργίας του VLF ανιχνευτή μετάλλων παράγεται με έναν ταλαντωτή Wien. Για «κεφαλή αναζήτησης» χρησιμοποιεί μια διάταξη πηνίων διπλού-00, επίσης εξηγούνται πως συντονίστηκαν αυτά τα πηνία με την συχνότητα λειτουργίας. Οι θόρυβοι του σήματος ανίχνευσης αφαιρούνται μέσω ενός υψηλοπερατού φίλτρου, έγιναν οι επεξηγήσεις γιατί είναι απαραίτητο ένα τέτοιο φίλτρο. Με έναν τελεστικό ενισχυτή μη-αναστρέφουσα συνδεσμολογίας το σήμα ενισχύεται. Το ημιτονικό σήμα μέσω έναν συγκριτή μηδενός μετατρέπεται σε τετραγωνικούς παλμούς όπου οι υψηλές καταστάσεις του τετραγωνικού παλμού έχουν χρονική διάρκεια ανάλογα με την ισχύ του ημιτονικού σήματος. Μια αναπτυξιακή πλακέτα Arduino Nano χρησιμοποιήθηκε για ανάγνωση της χρονικής διάρκειας υψηλής κατάστασης αυτού του τετραγωνικού παλμού. Το αποτέλεσμα για παρουσία μετάλλου αναπαριστάνεται σε μια οθόνη LCD και ένας βομβητής παράγει ηχητικό σήμα. Αν υπάρχει παρουσία μετάλλου η ισχύς του σήματος αναπαριστάνεται γραφικά στη οθόνη LCD και ο βομβητής αλλάζει τόνους. Αν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου στη οθόνη εμφανίζεται το αντίστοιχο μήνυμα που υποδεικνύει τον χρήστη για μη-παρουσία μετάλλου.

Στο 4^ο κεφάλαιο εξηγούνται τα μηχανικά μέρη και η διαδικασία υλοποίησης. Στο 5^ο κεφάλαιο είναι οι δοκιμές πεδίου και τα αποτελέσματα. Στο 6^ο κεφάλαιο είναι τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για βελτίωση.

Abstract

“DESIGNING AND BUILDING OF A VLF METAL DETECTOR”

Semich Omer – Sali Moumin Oglou

In the 1st chapter general information for metal detectors and its types are given. Function methods of 3 types of metal detectors are explained. At the end of the chapter a comparison made between 3 types of metal detectors.

At the 2nd chapter, in more detail function of a VLF Metal Detector is explained also required theoretical knowledge is covered. Theoretical knowledge about magnetic fields, induction, coils, eddy currents and "induction balance" method is given. On the "induction balance" method is focused and explained how to position the coils to achieve the "induction balance ". Finally, the effects of mineralization on metal detectors and the criteria for selecting the operating frequency of metal detectors is explained.

Chapter 3 explains the block diagram of the VLF Metal Detector. The required operating frequency of the VLF metal detector is generated with a Wien oscillator. For "search head" it uses a dual-OO coil array, it is also explained how these coils were tuned to the operating frequency and calculation of resonant frequency. The detection signal noises are removed through a high-pass filter, the explanations were made why such a filter is necessary. With a non-inverting op-amp configuration the signal is amplified. The sine signal through a zero comparator is converted to square pulses where the high states of the square pulse have duration depending on the power of the sine signal. An Arduino Nano development board was used to read the high state duration of this square pulse. The result for the presence of metal is displayed on an LCD screen and a buzzer produces an audible signal. If there is a metal, the signal strength is graphically displayed on the LCD screen and the buzzer changes tones according with strength of signal. If there is no metal on the screen, the corresponding message is displayed indicating the user for the absence of metal.

Chapter 4 explains the mechanical parts and the implementation process. In the 5th chapter are the field tests and the results. In the 6th chapter are the conclusions and suggestions for improvement.

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Μιχαήλ Σπάσο για όσα μας δίδαξε και ενστάλαξε στους φοιτητές/ριες του την απαραίτητη αυτοπεποίθηση για να γίνουν μηχανικοί. Δεύτερον θα θέλαμε ευχαριστήσουμε στον Βασίλη Κωτούλα που μας επέτρεψε να χρησιμοποιήσουμε το εργαστήριο του, τα όργανα του για να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις και δοκιμές. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε στους φίλους και φίλες μας που ήταν δίπλα μας με κάθε τρόπο που μπορούσαν, ειδικά ευχαριστούμε στον Λεβέντ Αζήζ Ογλού που μας βοήθησε στα τεχνικά και χειροτεχνικά θέματα όποτε χρειαστήκαμε βοήθεια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες	6
Κατάλογος σχημάτων	10
Κατάλογος πινάκων	12
Συνομογραφίες.....	12
1. Τι είναι ανιχνευτής μετάλλων	13
1.1. Κατηγορίες ανιχνευτών μετάλλων	14
1.1.1. Παλμό επαγωγή – PI	14
1.1.2. Ανιχνευτής με ταλαντωτή συχνότητας παλμών ήχου – BFO	14
1.1.3. Ανιχνευτής πολύ χαμηλής συχνότητας ή ισορροπίας επαγωγής – VLF/IB.....	15
1.1.4. Σύγκριση ανιχνευτών.....	15
2. Θεωρία ανιχνευτή μετάλλων πολύ χαμηλής συχνότητας.....	17
2.1. Επαγωγή και πηνία.....	17
2.1.1. Μαγνητικά πεδία.....	17
2.1.2. Επαγωγή.....	19
2.1.3. Ισορροπία επαγωγής	20
2.1.4. Δινορέυματα	21
2.1.5. Πηνία αναζήτησης στους VLF ανιχνευτές	23
2.1.5.1. Διπλά-OO (Double-OO)	23
2.1.5.2. Διπλά-DD (Double-DD)	24
2.1.5.3. Ομόκεντρα πηνία (Coaxial Coils)	24
2.1.5.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε κατηγορίας	24
2.1.5.5. Υπολογισμός ενός κυκλικού πηνίου	25
2.1.6. Επίδρασεις ορυστοποίησης.....	25
2.2. Αρχές ισορροπίας επαγωγής	26
2.2.1. Συχνότητα εκπομπής	26

3. Μπλοκ διάγραμμα VLF ανιχνευτή.....	28
3.1. Γενική περιγραφή του μπλοκ διαγράμματος.....	28
3.1.1. Τροφοδοσία	31
3.1.1.1. 7660.....	31
3.1.1.2. 78L05.....	32
3.1.1.3. Μπαταρίες και διακόπτης.....	32
3.1.2. Ταλαντωτής	33
3.1.3. Πομπός.....	34
3.1.4. Δέκτης	37
3.1.5. Φίλτρο.....	38
3.1.6. Προενισχυτής	40
3.1.7. Ανιχνευτής μηδενός.....	42
3.1.7.1. Τάση ασυμμετρίας εισόδου	44
3.1.8. Μικροελεγκτής	47
3.1.8.1. Arduino Nano.....	48
3.1.8.2. Είσοδοι	48
3.1.8.2.1. Μετρητής διάρκειας παλμού	49
3.1.8.3. Μετρητής διαιρέτης τάσης.....	50
3.1.8.3.1. Ρύθμιση βέλτιστης ευαισθησίας	51
3.1.8.4. Απεικόνιση σε οθόνη LCD	53
3.1.8.5. Βομβητής και τόνοι.....	56
3.1.8.6. Διάγραμμα ροής του κώδικα.....	57
4. Η κατασκευή	59
4.1. Κατασκευή, τοποθέτηση και στερεοποίηση των πηνίων.....	59
4.2. Διάτρηση πλακέτα	62
4.3. Μηχανικά μέρη	63
4.3.1. Κορμί.....	63
4.3.2. Βάση πηνίων (Κεφαλή αναζήτησης).....	64

4.3.3. Χερούλι	64
4.3.4. Κουτί κυκλωμάτων	65
4.3.4.1. Οθόνη	65
4.3.4.2. Ποτενσιόμετρο.....	65
4.3.5. Μπαταριοθήκες και διακόπτης ON/OFF	66
5. Δοκιμές πεδίου.....	66
5.1. Μετρήσεις με διαφορετικές συχνότητες.....	67
5.1.1. Η μέθοδος πραγματοποίηση των πειραμάτων.....	71
5.1.2. Αποτελέσματα	73
6. Συμπεράσματα και προτάσεις βελτιώσεις	75
Βιβλιογραφία	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Κώδικας Arduino	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Νομοθεσία	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Datasheets.....	92

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1:Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ανιχνευτή μετάλλων [1]	13
Σχήμα 2:Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός PI ανιχνευτή [2]	14
Σχήμα 3:Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός BFO ανιχνευτή [2]	15
Σχήμα 4:Στατικό μαγνητικό πεδίο [2]	17
Σχήμα 5:Πηνίο	17
Σχήμα 6:Η μαγνητική ροή γύρω από το πηνίο [2].....	18
Σχήμα 7:Επαγωγική σύζευξη [2].....	20
Σχήμα 8:Τα πηνία αλληλεπικαλύπτονται μερικώς [2].....	20
Σχήμα 9:Το πηνίο σύρεται στο σημείο που θα ακυρωθεί το πεδίο γύρω από το δευτερεύον πηνίο [2].	21
Σχήμα 10:Οι μαγνητικές ροές στο σημείο που ακυρώνεται το πεδίο γύρω από το δευτερεύον πηνίο[2]	21
Σχήμα 11:Οι μαγνητικές ροές του πηνίου TX και των δινορευμάτων [2]	22
Σχήμα 12:Οι μαγνητικές ροές και δινορεύματα σε δαχτυλίδι και νόμισμα [2].....	22
Σχήμα 13:Διάταξη διπλού-ΟΟ [2].....	23
Σχήμα 14:Διάταξη διπλού-DD [2]	24
Σχήμα 15:Ομόκεντρα πηνία	24
Σχήμα 16:Η επίδραση ορυκτοποίησης στο μαγνητικό πεδίο	25
Σχήμα 17:Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας.....	29
Σχήμα 18:Τα κυκλώματα.....	31
Σχήμα 19:ICL7660	32
Σχήμα 20:78L05	32
Σχήμα 21:Κύκλωμα ταλαντωτή Wien	33
Σχήμα 22:Η έξοδος του κυκλώματος Wien.....	34
Σχήμα 23:Μετρήσεις πειραμάτων για επιλογή του πηνίου TX	35
Σχήμα 24:Η συνδεσμολογία του πηνίου TX.....	35
Σχήμα 25:Σήμα του πηνίου TX με πυκνωτή συντονισμού	36
Σχήμα 26:Σήμα του πηνίου TX χωρίς πυκνωτή συντονισμού.....	37
Σχήμα 27:Η συνδεσμολογία του πηνίου RX.....	37
Σχήμα 28:Το σήμα που προκαλεί το μεταλλικό αντικείμενο από διαφορετικές αποστάσεις	38
Σχήμα 29:Συνδεσμολογία υψηλοπερατού φίλτρου.....	38
Σχήμα 30:Απόκριση των φίλτρων [3]	39
Σχήμα 31:Μη-αναστρέφουσα συνδεσμολογία T.E.	40
Σχήμα 32:Τάσεις εισόδου/εξόδου	41
Σχήμα 33:Κύκλωμα συγκριτή μηδενός.....	42
Σχήμα 34:Vin και Vout στις ιδανικές συνθήκες.....	43
Σχήμα 35:Η είσοδος και έξοδος στην πραγματική συνθήκη, όταν δεν εφαρμόζεται μια τάση αναφοράς	45
Σχήμα 36:Η είσοδος, η τάση αναφοράς και η έξοδος όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου	45
Σχήμα 37:Η είσοδος, η τάση αναφοράς και η έξοδος όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου.....	46
Σχήμα 38:Η είσοδος και η χρονική διάρκεια υψηλής κατάστασης τετραγωνικού παλμού της εξόδου ανάλογα με το πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου (CH1 Είσοδος- CH2 Έξοδος).....	47
Σχήμα 39:Μπλοκ διάγραμμα μικροελεγκτή	47
Σχήμα 40:Arduino Nano pin out [4].....	48
Σχήμα 41:Υψηλή ρύθμιση, όταν ΔEN υπάρχει παρουσία μετάλλου	52
Σχήμα 42:Υψηλή ρύθμιση, όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου.....	52
Σχήμα 43:Χαμηλή ρύθμιση, όταν ΔEN υπάρχει παρουσία μετάλλου.....	53

Σχήμα 44: Η συνδεσμολογία LCD οθόνης [4].....	53
Σχήμα 45: Διάγραμμα ροής του κώδικα.....	57
Σχήμα 46: Τοποθέτηση των πηνίων και απεικόνιση επαγωγικής σύζευξης στον παλμογράφο.....	60

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Γραφική απεικόνιση του σήματος στην οθόνη.....	49
Εικόνα 2: NO METAL.....	54
Εικόνα 3: Γραφική απεικόνιση στην οθόνη του σήματος για μέτρια παρουσία του σήματος.....	55
Εικόνα 4: Αρχικό μήνυμα.....	55
Εικόνα 5: Τυλίγμα πηνίων. Για TX χρησιμοποιήθηκε ένα σύρμα 0,8mm και για αυτεπαγωγή των 2,71mH χρειάστηκαν 80 περιελίξεις. Για RX χρησιμοποιήθηκε ένα σύρμα 0,2mm και για αυτεπαγωγή των 7,34mH χρειάστηκαν 115 περιελίξεις.....	59
Εικόνα 6: Τα πηνία μετά από την ολοκλήρωση τυλίγματος.....	60
Εικόνα 7: Χάραγμα καλουπιού.....	61
Εικόνα 8: Προσθήκη ρητίνης και διαδικασία στέγνωσης.....	62
Εικόνα 9: Αφαίρεση της ρητίνης από το καλούπι.....	62
Εικόνα 10: Διάτρητη πλακέτα.....	63
Εικόνα 11: Κορμί.....	63
Εικόνα 12: Κεφαλή αναζήτησης.....	64
Εικόνα 13: Χερούλι.....	64
Εικόνα 14: Κουτί πάνω όψη.....	65
Εικόνα 15: Τοποθέτηση ποτενσιόμετρου και οθόνης.....	66
Εικόνα 16: Μπαταριοθήκες και διακόπτης ON/OFF.....	66
Εικόνα 17: Πλάκες αλουμινίου.....	68
Εικόνα 18: Κονσέρβα.....	68
Εικόνα 19: Ταψί.....	68
Εικόνα 20: 100 Δραχμές.....	69
Εικόνα 21: 50 Λεπτά [5].....	69
Εικόνα 22: 1 ευρώ [5].....	69
Εικόνα 23: 2 Ευρώ [5].....	70
Εικόνα 24: Οθωμανική χρυσή λίρα 36gr.....	70
Εικόνα 25: Οθωμανική χρυσή λίρα 7gr.....	71
Εικόνα 26: Αγγλική χρυσή λίρα 8gr.....	71
Εικόνα 27: Μέτρηση του βάθους ταφής και μετά την ταφή.....	72
Εικόνα 28: Απεικόνιση σήματος με τον παλμογράφο εν ώρα ανίχνευσης ενός μεταλλικού αντικειμένου.....	72

Κατάλογος πινάκων

Κεφάλαιο 5°

Πίνακας 1: Αποτελέσματα μετρήσεων

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
ADC	Analog to Digital Converter
DC	Direct Current
AC	Alternating Current
IC	Integrated Circuit
Op-Amp	Operational Amplifier
Ref	Reference
USB	Universal Serial Bus
BFO	Beat Frequency Oscillator

***Διευκρίνιση για την ορολογία:** Η αγγλική ορολογία που χρησιμοποιείται για αυτόν τον ανιχνευτή είναι «Beat Frequency Oscillator». Η λέξη «Bea» αναφέρεται σε ρυθμό/παλμό ήχου, ωστόσο «Beat Frequency Oscillator» μεταφράστηκε ως «Ανιχνευτής με ταλαντωτή συχνότητας παλμών ήχου»*

VLF Very Low Frequency

***Διευκρίνιση για την ορολογία:** Οι ανιχνευτές πολύ χαμηλής συχνότητας – VLF (Very Low Frequency) είναι επίσης γνωστοί με όνομα ανιχνευτές ισορροπίας επαγωγής – IB (Induction Balance). Ιστορικά αυτοί οι τύποι ανιχνευτών έγιναν γνωστοί στην αγορά ως ανιχνευτές ισορροπίας επαγωγής, όμως αυτή η ορολογία έμεινε επικρατέστερη περισσότερη στην Αμερικάνικη αγορά. Στην εργασία μας, για συντόμευση θα χρησιμοποιήσαμε τον όρο «VLF» για τους ανιχνευτές πολύ χαμηλής συχνότητας*

PI Pulse Induction

IB Induction Balance

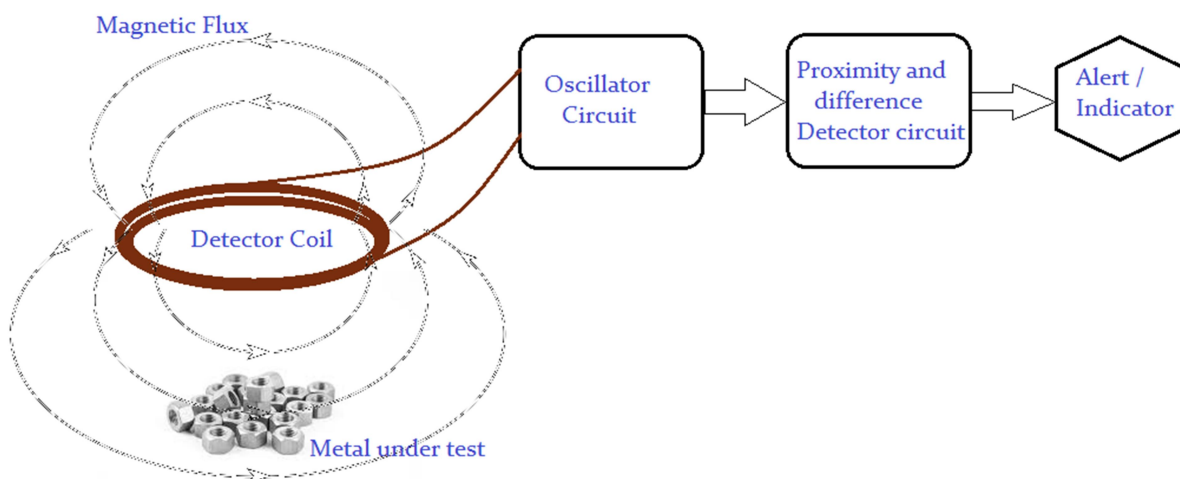
TX Transmitter

RX Receiver

1. Τι είναι ανιχνευτής μετάλλων

Ο ανιχνευτής μετάλλων είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της παρουσίας μεταλλικών αντικειμένων. Οι ανιχνευτές μετάλλων αποτελούνται συνήθως από μια φορητή μονάδα με έναν αισθητήρα (πηνίο) που μπορεί να σαρώσει πάνω από το έδαφος για αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από το έδαφος. Εάν ο αισθητήρας πλησιάζει σε ένα κομμάτι μετάλλου, η παρουσία μετάλλου υποδεικνύεται ως ηχητικό ή οπτικό σήμα. Οι σύγχρονες συσκευές υποδεικνύουν την απόσταση ή την ισχύ του σήματος, ορισμένες συσκευές μπορούν να διαχωρίζουν και τα μέταλλα. Οι ανιχνευτές μετάλλων δείχνουν ποικίλες χρήσεις, από την εύρεση πολύτιμων μετάλλων που είναι θαμμένο κάτω από το έδαφος έως την εύρεση μεταλλικών αντικειμένων σε σημεία ασφαλείας των αεροδρομίων. Οι ανιχνευτές μετάλλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ερασιτέχνες, κατασκευαστικές εταιρείες, εταιρείες εξόρυξης μετάλλων, αρχαιολόγους και στρατό. Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα επικεντρωθούμε σε ανιχνευτές μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση μετάλλων που είναι θαμμένο κάτω από το έδαφος και συγκεκριμένα στην σχεδίαση και κατασκευή ενός ανιχνευτή μετάλλων πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF).

Η αρχή λειτουργίας ενός ανιχνευτή μετάλλων βασίζεται στο φαινόμενο της μαγνητικής επαγωγής. Η απλούστερη μορφή ανιχνευτή μετάλλων αποτελείται από έναν ταλαντωτή που παράγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο διέρχεται από ένα πηνίο που παράγει ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Εάν ένα κομμάτι ηλεκτρικά αγωγίμου μετάλλου βρίσκεται κοντά στο πηνίο, θα προκληθούν δινορεύματα στο μέταλλο και αυτό θα παράγει ένα δικό του μαγνητικό πεδίο. Εάν χρησιμοποιηθεί άλλο πηνίο για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου (που λειτουργεί ως μαγνητόμετρο), μπορεί να ανιχνευθεί η αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο λόγω του μεταλλικού αντικειμένου. Με κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα αυτή η αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο μπορεί να μετατραπεί σε ηχητικό ή οπτικό σήμα. Οπότε η παρουσία μετάλλου γίνεται κατανοητή δηλαδή πραγματοποιείται η ανίχνευση .



Σχήμα 1: Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ανιχνευτή μετάλλων [1]

1.1.Κατηγορίες ανιχνευτών μετάλλων

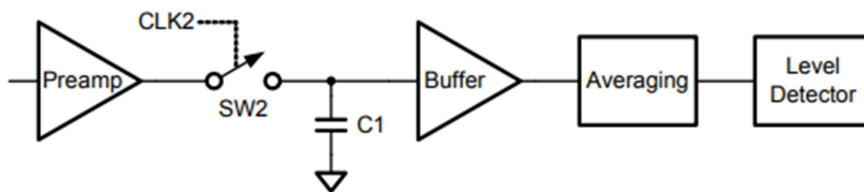
Η λειτουργία όλων των ανιχνευτών μετάλλων βασίζονται στη μαγνητική επαγωγή, ωστόσο υπάρχουν 3 μέθοδοι ανίχνευσης μετάλλων, που αυτές οι μέθοδοι καθορίζουν και την τεχνολογία ανιχνευτών μετάλλων, αυτές είναι εξής:

- 1) Παλμό επαγωγή – PI
- 2) Ανιχνευτής με ταλαντωτή συχνότητας παλμών ήχου – BFO
- 3) Ανιχνευτής πολύ χαμηλής συχνότητας ή ισορροπία επαγωγής – VLF/IB

Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

1.1.1. Παλμό επαγωγή – PI

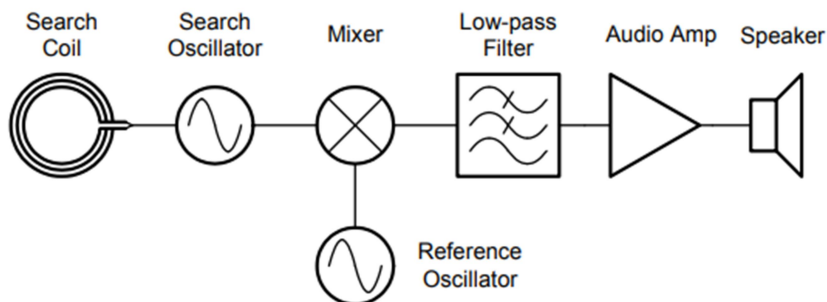
Οι ανιχνευτές μετάλλων παλμό επαγωγής – PI (Pulse Induction) στέλνουν επαναλαμβανόμενους παλμούς ηλεκτρικού ρεύματος στο πηνίο αναζήτησης, παράγοντας ένα μαγνητικό πεδίο. Το πηνίο μεταδίδει έναν παλμό προς το έδαφος και δημιουργεί δινορεύματα στο μεταλλικό αντικείμενο, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δινορεύματα επιστρέφει ως παλμός απόκρισης πίσω στο πηνίο. Ένα κύκλωμα δειγματοληψίας μετρά τον παλμό και τον στέλνει σε έναν ολοκληρωτή, ο οποίος παράγει ένα ηχητικό σήμα. Οι ανιχνευτές PI συνήθως χρησιμοποιούν το ίδιο πηνίο για μετάδοση και λήψη, ωστόσο οι διατάξεις 2 πηνίων δεν είναι επίσης ασυνήθες. Οι ανιχνευτές PI δεν είναι πολύ καλοί στη διάκριση επειδή το ανακλώμενο μήκος παλμού των διαφόρων μετάλλων δεν διαχωρίζεται εύκολα. Αλλά το βάθος ανίχνευσης υπερτερεί των άλλων τύπων ανιχνευτών. [1-2]



Σχήμα 2: Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός PI ανιχνευτή [2]

1.1.2. Ανιχνευτής με ταλαντωτή συχνότητας παλμών ήχου – BFO

Ο ανιχνευτής με ταλαντωτή συχνότητας παλμών ήχου – BFO (Beat Frequency Oscillator) είναι ο απλούστερος (και παλαιότερος) τύπος τεχνολογίας ανιχνευτή μετάλλων. Ο βασικός ανιχνευτής BFO χρησιμοποιεί δύο ταλαντωτές ραδιοσυχνότητας που συντονίζονται κοντά στην ίδια συχνότητα. Ο πρώτος ονομάζεται ταλαντωτής αναζήτησης και ο άλλος ταλαντωτής αναφοράς. Οι έξοδοι των δύο ταλαντωτών οδηγούνται σε έναν μίκτη που παράγει ένα σήμα το οποίο αποτελείται από το άθροισμα / διαφορά συχνότητας. Αυτό το σήμα οδηγείται σε ένα χαμηλοπερατό φίλτρο που αφαιρεί τις αρμονικές. Εφόσον οι δύο ταλαντωτές είναι συντονισμένοι στην ίδια συχνότητα, η έξοδος δεν θα έχει σήμα. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο θα διαταράξει το μαγνητικό πεδίο του πηνίου αναζήτησης, η συχνότητα του ταλαντωτή αναζήτησης θα μετατοπιστεί ελαφρά και ο ανιχνευτής θα παράγει ένα σήμα στην περιοχή συχνότητων ήχου. Είναι απλοί στην κατασκευή και φθηνοί αλλά δεν προσφέρουν την ακρίβεια και τον έλεγχο των PI και VLF ανιχνευτών. [1-2]



Σχήμα 3: Παράδειγμα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός BFO ανιχνευτή [2]

1.1.3. Ανιχνευτής πολύ χαμηλής συχνότητας ή ισορροπίας επαγωγής – VLF/IB

Οι ανιχνευτές μετάλλων πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF) είναι ανιχνευτές ισορροπίας επαγωγής που χρησιμοποιούν πολύ χαμηλές συχνότητες (3kHz-70kHz). Οι ανιχνευτές VLF χρησιμοποιούν δύο ισορροπημένα πηνία, αυτά είναι τα πηνία εκπομπής (Tx) και λήψης (Rx):

Το πρωτεύον πηνίο λειτουργεί ως πομπός, χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο ρεύμα για να δημιουργήσει ένα μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται όταν έρχεται σε «επαφή» με ένα μεταλλικό (αγώγιμο) αντικείμενο, δημιουργούνται δινορεύματα στο μεταλλικό αντικείμενο. Το δευτερεύον πηνίο που λειτουργεί ως δέκτης, «διαβάζει» το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δινορεύματα του αγώγιμου αντικειμένου. Η εναλλασσόμενη τάση πάνω στο δευτερεύον πηνίο δηλαδή το σήμα που δημιουργείται από το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, με τη βοήθεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ενισχύεται και μετατρέπεται σε ηχητικά και οπτικά σήματα. Οι ανιχνευτές VLF μετρώντας τις διαφορές φάσης μπορούν να κάνουν διάκριση μεταξύ σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων. Επίσης, μετρώντας το πλάτος του σήματος, μπορούν να υποδεικνύουν κατά προσέγγιση το βάθος και το μέγεθος του μεταλλικού αντικειμένου. Το μειονέκτημα των ανιχνευτών VLF σε σύγκριση με τους ανιχνευτές PI, είναι ότι το βάθος ανίχνευσης είναι μικρότερο από τους ανιχνευτές PI. [1-2]

Για την πτυχιακή μας εργασία σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε έναν ανιχνευτή μετάλλων τύπου VLF, περαιτέρω τεχνικές λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία ενός ανιχνευτή VLF θα εξηγηθούν στα επόμενα κεφάλαια.

1.1.4. Σύγκριση ανιχνευτών

Ανάλογα με το πεδίο που θα χρησιμοποιηθούν, κάθε ανιχνευτής μετάλλων θα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του, για το λόγο αυτό δεν μπορούμε να πούμε η τάδε κατηγορία είναι η καλύτερη κατηγορία. Παρακάτω μπορείτε να δείτε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας:

PI ανιχνευτές

Πλεονεκτήματα

- Μεγάλο βάθος ανίχνευσης σε σύγκριση με άλλους ανιχνευτές
- Δεν επηρεάζεται εύκολα από την ορυκτοποίηση εδάφους
- Λειτουργεί τέλεια όταν είναι απαραίτητη η ανίχνευση παρουσίας οποιουδήποτε είδους μετάλλου

Μειονεκτήματα

- Δεν υπάρχουν ικανότητες διακρίσεις και αναγνώρισης

BFO ανιχνευτές

Πλεονεκτήματα

- Απλή λειτουργία
- Φθηνός και οικονομικός σχεδιασμός
- Καλή ικανότητα εντοπισμού σημείων με ακρίβεια σε σύγκριση με PI ανιχνευτές

Μειονεκτήματα

- Μικρότερη ικανότητα διάκρισης μετάλλων σε σύγκριση με τους VLF ανιχνευτές
- Μικρότερο βάθος ανίχνευσης σε σύγκριση με τους ανιχνευτές VLF και PI
- Επηρεάζεται εύκολα από την ορυκτοποίηση εδάφους

VLF ανιχνευτές

Πλεονεκτήματα

- Μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ τύπων μετάλλων
- Μπορεί να δείξει κατά προσέγγιση μέγεθος και βάθος μετάλλου
- Όταν χρησιμοποιούνται σωστοί τύποι πηνίων, έχουν καλύτερη ικανότητα εντοπισμού σημείων με ακρίβεια σε σύγκριση με τους PI ανιχνευτές

Μειονεκτήματα

- Μικρότερο βάθος ανίχνευσης σε σύγκριση με τους ανιχνευτές PI

2. Θεωρία ανιχνευτή μετάλλων πολύ χαμηλής συχνότητας

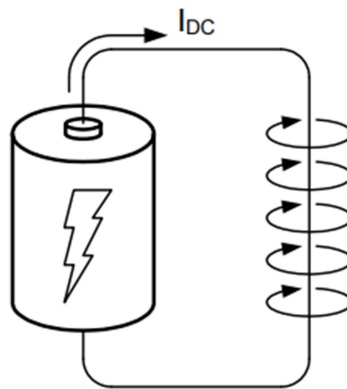
Σε αυτήν την ενότητα, θα εξηγήσουμε τις θεωρητικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για να εξηγήσουμε καλύτερα τις αρχές λειτουργίας ενός VLF ανιχνευτή. Στην πραγματικότητα η λειτουργία όλων των ανιχνευτών βασίζονται στον ηλεκτρομαγνητισμό. Με την σειρά θα εξηγήσουμε την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, τα πηνία, τα δινορεύματα και την «καλύτερη» συχνότητα αναζήτησης για τους VLF ανιχνευτές μετάλλων.

2.1. Επαγωγή και πηνία

Όλοι ανιχνευτές μετάλλων λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή είναι ο σχηματισμός διαφοράς δυναμικού (τάσης) σε έναν αγωγό που εκτίθεται σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αλλά πριν αυτό πρέπει να εξηγήσουμε πως δημιουργούνται τα μαγνητικά πεδία.

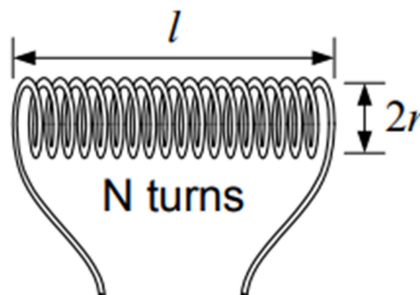
2.1.1. Μαγνητικά πεδία

Όταν ένα αγωγίμο σύρμα διαρρέεται από συνεχές ρεύμα (DC), ένα στατικό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται γύρω από το σύρμα. [1]



Σχήμα 4: Στατικό μαγνητικό πεδίο [2]

Εάν τυλίξετε το καλώδιο σε ένα μακρύ σφιχτό πηνίο, μπορείτε να ενισχύσετε το μαγνητικό πεδίο, το πηνίο «εστιάζει» το πεδίο στο κέντρο του. Κάθε περιέλιξη του καλωδίου αυξάνει την πυκνότητα μαγνητικής ροής (B).

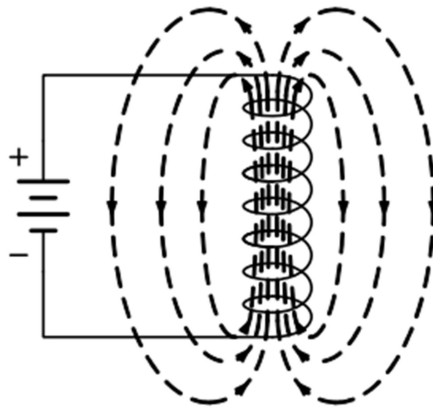


Σχήμα 5: Πηνίο

Καθώς αυξάνεται η μαγνητική ροή, το μαγνητικό πεδίο γίνεται ισχυρότερο αλλά η ένταση του μαγνητικού πεδίου δεν εξαρτάται μόνο από αυτό αλλά εξαρτάται και από το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο (I), από τις διαστάσεις του πηνίου (μήκος l και ακτίνα r), από τον αριθμό των περιελίξεων του σύρματος (N) και από το υλικό που χρησιμοποιείται ως πυρήνας του πηνίου. Η μέγιστη ένταση μαγνητικού πεδίου ενός πηνίου μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$B = \frac{\mu NI}{\sqrt{4r^2 + l^2}}$$

Όπου (μ) είναι η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού του πυρήνα στο οποίο τυλίγεται το πηνίο. Αυτή είναι η ένταση του πεδίου ακριβώς στο κεντρικό σημείο μέσα στο πηνίο. Οι γραμμές μαγνητικής ροής που αποτελούν το μαγνητικό πεδίο, εξέρχονται από κάθε άκρο του πηνίου και συνδέονται γύρω από το εξωτερικό του πηνίου για να σχηματίσουν μια πλήρη διαδρομή. Η ένταση του πεδίου μειώνεται ελαφρώς καθώς κινείστε προς τις άκρες του πηνίου. Επίσης, οι εξωτερικές γραμμές μαγνητικής ροής του πεδίου έχουν αντίθετη φορά από τη ροή μέσα στο πηνίο. [1]



Σχήμα 6: Η μαγνητική ροή γύρω από το πηνίο [2]

Εάν το μήκος (l) του πηνίου είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα (r) του ($l > r$), η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί ως εξής:

$$B = \frac{\mu NI}{l}$$

Εάν το μήκος (l) του πηνίου είναι μικρότερο από την ακτίνα (r) του ($l < r$), τότε η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί ως εξής:

$$B = \frac{\mu NI}{2r}$$

Και πάλι, αυτή είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου ακριβώς στη μέση του πηνίου. Υποθέτοντας ότι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου είναι μια σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό ενός ανιχνευτή μετάλλων, μπορούμε να συμπεράνουμε από αυτή την εξίσωση ότι για ένα δεδομένο μέγεθος πηνίου (ακτίνα r) μπορούμε να αυξήσουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Προκειμένου να αυξηθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου, μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των περιελίξεων του σύρματος ή να αυξηθεί η ένταση του ρεύματος στο πηνίο ή να χρησιμοποιηθεί ένας πυρήνας πηνίου με υψηλή μαγνητική διαπερατότητα. Ωστόσο, πολλοί ανιχνευτές μετάλλων δεν χρησιμοποιούν πυρήνα, για αυτό τον λόγο κατά τον

υπολογισμό του μαγνητικού πεδίου πρέπει να ληφθεί στην υπόψη η μαγνητική διαπερατότητα του κενού αέρα $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$. Επίσης μπορούμε να καταλήξουμε ότι τα πηνία μεγάλης ακτίνας έχουν ασθενέστερο πεδίο. Τελειώνοντας μπορούμε να συμπεράνουμε σε έναν ανιχνευτή μετάλλων, το ισχυρό μαγνητικό πεδίο στο πηνίο θα αυξήσει το βάθος αναζήτησης. Φυσικά και τα όρια που επιτρέπουν οι νόμοι θα πρέπει επίσης να ληφθούν στην υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού. Οι ανιχνευτές μετάλλων που μπορούν να ανιχνεύσουν πολύ βαθιά μπορούν να φέρουν και άλλες νομικές υποχρεώσεις, οι απαραίτητες νομικές επεξηγήσεις θα γίνουν στις τελευταίες ενότητες. [1]

Μέχρι στιγμής, έχουμε εξηγήσει μόνο τις επιδράσεις συνεχούς ρεύματος (DC) σε ένα αγωγίμο καλώδιο. Όσο το ρεύμα είναι σταθερό, το μαγνητικό πεδίο θα είναι σταθερό. Εάν το ρεύμα μεταβάλλεται, τότε και το μαγνητικό πεδίο θα μεταβάλλεται. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε ένα καλώδιο παράγει ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο. Δηλαδή, καθώς η κατεύθυνση του ρεύματος συνεχώς αντιστρέφεται και η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου αντιστρέφεται. Αυτό προκαλεί το φαινόμενο της επαγωγής.

2.1.2. Επαγωγή

Για να εξοικονομήσουμε χρόνο, κατά την επεξήγηση της επαγωγής δεν θα αναλύσουμε την πλήρη θεωρία του νόμου του Faraday αλλά θα εξηγήσουμε πιο απλά τι είναι το φαινόμενο επαγωγής και πώς γίνεται χρήσιμο στους ανιχνευτές μετάλλων.

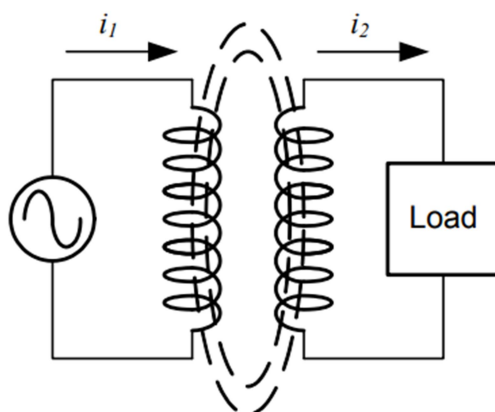
Όπως εξηγήθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, εάν ένα ρεύμα με συγκεκριμένη κατεύθυνση μπορεί να δημιουργήσει ένα μαγνητικό πεδίο, μια προφανής ερώτηση που πρέπει να τεθεί είναι, μπορεί ένα μαγνητικό πεδίο να δημιουργήσει ρεύμα σε ένα καλώδιο ή πηνίο; Η απάντηση είναι ναι αλλά μόνο στην περίπτωση ενός μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου. [1]

Ένα καλώδιο ή πηνίο (ως μέρος κάποιου κυκλώματος ή ως κλειστό βρόχο) μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο και μια διαφορά δυναμικού θα δημιουργηθεί πάνω στο καλώδιο ή στο πηνίο.

Όταν ένα πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργείται εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο μπορεί να μετακινήσει ηλεκτρικό φορτίο και αντιστρόφως, τα ηλεκτρικά φορτία σε κίνηση δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο. Έτσι το ένα υποστηρίζει το άλλο και ο συνδυασμός των δύο είναι γνωστός ως ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αλλά οι ανιχνευτές μετάλλων χρησιμοποιούν μόνο το τμήμα του μαγνητικού πεδίου.

Η κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα πηνίο παράγει ένα μαγνητικό πεδίο και όπου το ίδιο μαγνητικό πεδίο εάν εκτείνεται στο δεύτερο πηνίο προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων και παράγει ένα δευτερεύον ρεύμα (Σχήμα 7). Αυτός είναι ο τρόπος λειτουργίας των μετασχηματιστών. Στους μετασχηματιστές, το πηνίο στο οποίο εφαρμόζεται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ονομάζεται πρωτεύον πηνίο και το επαγόμενο πηνίο ονομάζεται δευτερεύον πηνίο. Στους ανιχνευτές μετάλλων, το πηνίο στο οποίο εφαρμόζεται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ονομάζεται πηνίο πομπού (TX) και το επαγόμενο πηνίο ονομάζεται πηνίο λήψης (RX).

Με την επαγωγή δημιουργούνται και τα δινορεύματα σε αγωγίμα αντικείμενα, το οποίο είναι πολύ σημαντικό θέμα για την ανίχνευση μετάλλων αλλά τα δινορεύματα θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια.

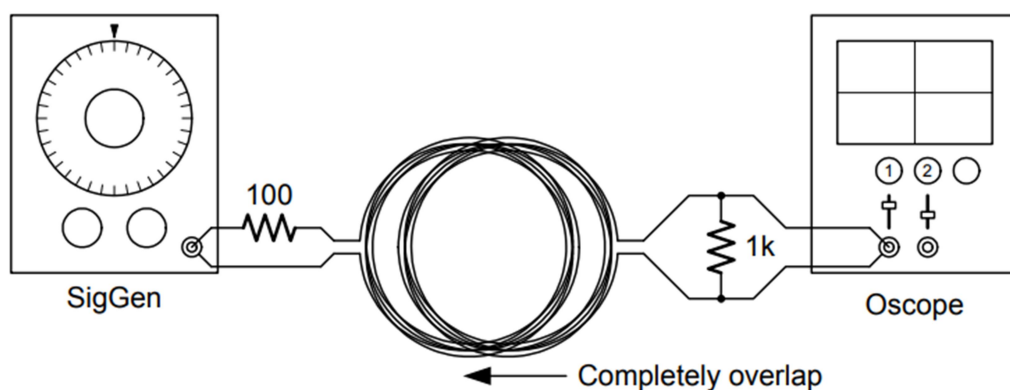


Σχήμα 7: Επαγωγική σύζευξη [2]

2.1.3. Ισορροπία επαγωγής

Όπως εξηγήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα πηνίο θα προκαλέσει κίνηση ηλεκτρονίων σε ένα άλλο πηνίο, δημιουργώντας έτσι ένα ρεύμα. Αυτός είναι ο τρόπος λειτουργίας των μετασχηματιστών. Κανονικά, οι μετασχηματιστές είναι σχεδιασμένοι για μέγιστη σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου, προκειμένου να έχουν την υψηλότερη δυνατή απόδοση. Συνήθως περιλαμβάνουν ένα πυρήνα για να μεγιστοποιήσουν την απόδοση. Στους ανιχνευτές μετάλλων, το αντίθετο είναι επιθυμητό. Θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την άμεση σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου, οπότε όταν ένας στόχος μπαίνει στο πεδίο πρέπει να συμβεί μια έμμεση σύζευξη που να είναι ευδιάκριτη. [1]

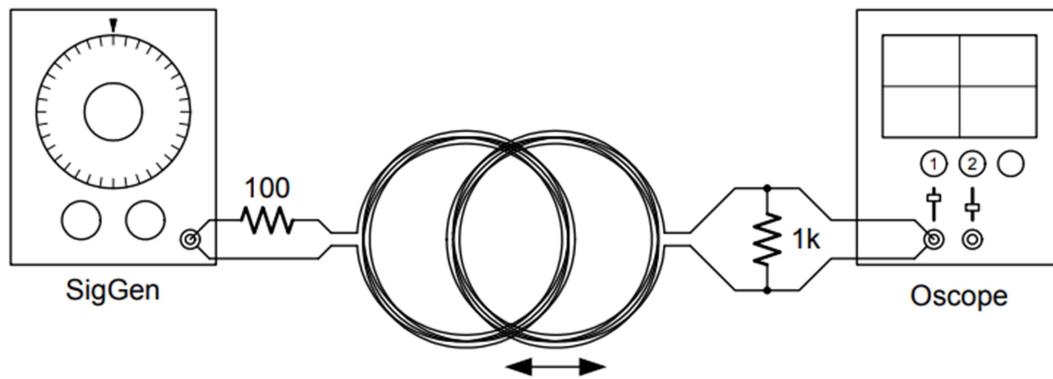
Για παράδειγμα, τοποθετούμε το δευτερεύον πηνίο απευθείας πάνω από το πρωτεύον, έτσι ώστε να ευθυγραμμίζονται ομοαξονικά. Με αυτόν τον τρόπο το μαγνητικό πεδίο από το πρωτεύον πηνίο συζευγνύεται ομοιόμορφα με το δευτερεύον πηνίο.



Σχήμα 8: Τα πηνία αλληλεπικαλύπτονται μερικώς [2]

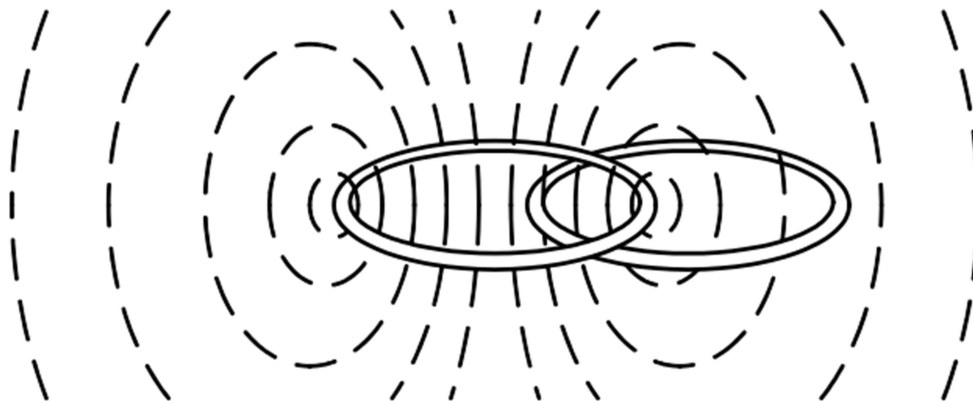
Εάν σύρουμε το δευτερεύον πηνίο προς τα πλάγια (Σχήμα 8) έτσι ώστε να επικαλύπτονται μόνο μερικώς, το δευτερεύον πηνίο θα αρχίσει να συζευγνύεται με ένα τμήμα του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του πρωτεύοντος πηνίου και ταυτόχρονα, με ένα τμήμα του μαγνητικού πεδίου στο εξωτερικό του πρωτεύον πηνίου. Εφόσον το μαγνητικό πεδίο στο εξωτερικό του πρωτεύοντος πηνίου έχει αντίθετη κατεύθυνση

προς την κατεύθυνση του εσωτερικού πεδίου, θα υπάρξει κάποια ακύρωση στη σύζευξη πεδίου με το δευτερεύον πηνίο.



Σχήμα 9: Το πηνίο σύρεται στο σημείο που θα ακυρωθεί το πεδίο γύρω από το δευτερεύον πηνίο [2]

Καθώς συνεχίζουμε να σύρουμε (Σχήμα 9) το δευτερεύον πηνίο, κάποια στιγμή θα υπάρξει μια θέση όπου το εσωτερικό και το εξωτερικό πεδίο στο δευτερεύον πηνίο θα ακυρωθούν εντελώς (θεωρητικά) και δεν θα υπάρχει σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου (Σχήμα 10). Δηλαδή η διαφορά δυναμικού πάνω στο δευτερεύον πηνίο θα ελαχιστοποιηθεί. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται «ισορροπία επαγωγής». [1]



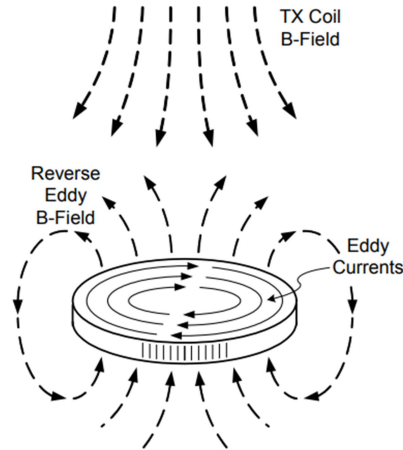
Σχήμα 10: Οι μαγνητικές ροές στο σημείο που ακυρώνεται το πεδίο γύρω από το δευτερεύον πηνίο [2]

2.1.4. Δινορεύματα

Όπως εξηγήθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ρεύμα σε ένα δευτερεύον πηνίο, εφόσον το πηνίο είναι συνδεδεμένο σε κάποιο κύκλωμα ή όταν είναι συνδεδεμένο ως κλειστό βρόχο. Τι γίνεται όμως αν δεν είναι συνδεδεμένο σε κύκλωμα ή δεν είναι σε βρόχο; Τι θα συμβεί αν, αντί για ένα δευτερεύον πηνίο συνδεδεμένο σε ένα κύκλωμα, εισάγουμε ένα αποσυνδεδεμένο κομμάτι μετάλλου σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο; Θα προσπαθήσει ακόμα το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο να ωθήσει τα ηλεκτρόνια γύρω; Ναι, αλλά όταν έχετε ένα αποσυνδεδεμένο κομμάτι μετάλλου και τα ηλεκτρόνια δεν έχουν πού να πάνε κάνουν κάτι πολύ περίεργο. Απλώς κάνουν κύκλους μέσα στο μέταλλο (αγωγό) και αυτό ονομάζεται δινορεύματα. [1]

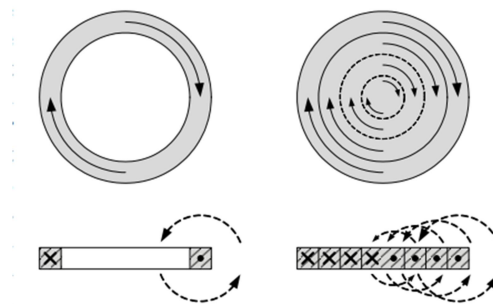
Σε έναν ανιχνευτή μετάλλων, όταν οδηγάμε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα μέσω ενός πηνίου, το ρεύμα παράγει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο γύρω από το πηνίο. Όταν ένας μεταλλικός στόχος βρίσκεται κοντά

στο πηνίο, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκαλεί δινορεύματα στον μεταλλικό στόχο. Πώς είναι αυτό χρήσιμο; Σύμφωνα με τον νόμο της επαγωγής του Faraday και τον νόμο του Lenz - ότι τα επαγόμενα δινορεύματα έχουν μια μετατόπιση φάσης 90° από το προσπίπτον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και τα ίδια τα δινορεύματα δημιουργούν το δικό τους ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με μια άλλη μετατόπιση φάσης 90° . Το τελικό αποτέλεσμα είναι τα δινορεύματα να αρχίζουν να παράγουν ένα αντίστροφο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που έχει διαφορά φάσης 180° με το πεδίο του πηνίου.



Σχήμα 11: Οι μαγνητικές ροές του πηνίου TX και των δινορευμάτων [2]

Στα δινορεύματα. Η κυκλική φύση των δινορευμάτων σημαίνει ότι οι κυκλικοί στόχοι θα ανιχνεύονται πιο αποτελεσματικά. Στην πραγματικότητα, δεδομένου ενός στρογγυλού στόχου και ενός τετράγωνου στόχου ίδιας επιφάνειας, πάχους και τύπου μετάλλου, ο στρογγυλός στόχος θα δώσει μια ελαφρώς ισχυρότερη απόκριση. Θα υπάρχει διαφορά μεταξύ ενός στρογγυλού στόχου συμπαγούς επιφάνειας όπως ένα νόμισμα και ενός στρογγυλού στόχου ανοιχτής επιφάνειας όπως ένα δαχτυλίδι. Ένα δαχτυλίδι θα δώσει ισχυρότερη απόκριση, παρόλο που μπορεί να έχει πολύ μικρότερη επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει επειδή μοιάζει περισσότερο με κλειστό βραχυκυκλωμένο σύρμα, στον οποίο το επαγόμενο ρεύμα διαρρέει γύρω από τον βρόχο. Το νόμισμα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει πολλαπλούς ομόκεντρους δακτυλίους, στους οποίους κάθε δακτύλιος διαρρέεται από ένα ανεξάρτητο δινορεύμα. Κάθε δινορεύμα θα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που αποδυναμώνει τα άλλα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από άλλα δινορεύματα και κάθε αντιμαγνητικό πεδίο κόβει άλλους δακτυλίους, δημιουργώντας ουσιαστικά μια δινορρευματική έλξη. Έτσι, η επιπλέον μεταλλική επιφάνεια στη μέση του νομίσματος βλάπτει την απόκρισή του. Αλλά όχι μόνο αυτά, επίσης και το επιδερμικό φαινόμενο είναι ένας σημαντικός παράγοντας. [1]



Σχήμα 12: Οι μαγνητικές ροές και δινορεύματα σε δαχτυλίδι και νόμισμα [2]

Ας επιστρέψουμε στο αντίστροφο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δινορεύματα. Αυτό το αντίστροφο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο δίνει την ευκαιρία να ανιχνευθεί η παρουσία ενός μεταλλικού στόχου. Αλλά το πρόβλημα είναι ότι αυτό το αντίστροφο πεδίο έχει ένα εξαιρετικά ασθενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε σύγκριση με αυτό που παράγει το πρωτεύον πηνίο (TX). Για αυτό τον λόγο πρώτα, τα πηνία RX και TX πρέπει να ρυθμιστούν. Εάν το δευτερεύον πηνίο τοποθετηθεί (RX) ακριβώς πάνω στο πηνίο TX, το επαγόμενο σήμα RX που προκύπτει από τα δινορεύματα θα καλυφθεί από το σήμα TX και θα είναι αδύνατο να διακριθεί το σήμα του μεταλλικού στόχου. Αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να ακυρώσουμε την παρουσία του πεδίου TX στο πηνίο RX, έτσι ώστε το πηνίο RX να «βλέπει» μόνο το πεδίο του μεταλλικού στόχου που προκαλείται από δινορεύματα. Αυτός είναι ο λόγος που σύρουμε το πηνίο RX μέχρι να υπάρχει η ελάχιστη σύζευξη μεταξύ TX και RX.

Με το πηνίο RX τοποθετημένο έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη σύζευξη με το πεδίο TX, μπορεί να ανιχνευθεί η παρουσία ενός μεταλλικού στόχου από το αντίστροφο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του που προκαλείται από δινορεύματα. Αυτό το αντίστροφο πεδίο στόχου συζευγνύεται επαγωγικά με το πηνίο λήψης (RX) και δεδομένου ότι είναι εναλλασσόμενο πεδίο δημιουργεί μια εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού στο πηνίο. Αυτή η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού είναι το σήμα που υποδεικνύει την παρουσία του μετάλλου. Στους VLF ανιχνευτές μετάλλων το σήμα είναι μεταξύ των 3kHz -70kHz. Ο τρόπος τοποθέτησης των πηνίων μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία ανίχνευσης.

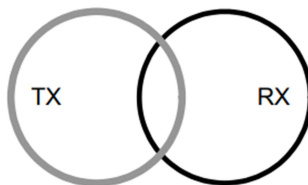
2.1.5. Πηνία αναζήτησης στους VLF ανιχνευτές

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πηνίων αναζήτησης που χρησιμοποιούνται από εταιρείες. Κάθε είδος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις εταιρείες είναι τα «διπλά-DD» (Double-DD) ή ομόκεντρα πηνία (Coaxial Coils). Ωστόσο, οι εταιρείες έχουν τα δικά τους πηνία σε πολλά διαφορετικά σχέδια, σχήματα και μεγέθη, επομένως για να αποφύγουμε την ανάλυση όλων των σχεδίων από διαφορετικές εταιρείες, θα εστιάσουμε και θα αναλύσουμε μόνο 3 δημοφιλείς τύπους πηνίων. Αυτά είναι τα εξής:

- Διπλά-OO (Double-OO)
- Διπλά-DD (Double-DD)
- Ομόκεντρα πηνία (Coaxial Coils)

2.1.5.1. Διπλά-OO (Double-OO)

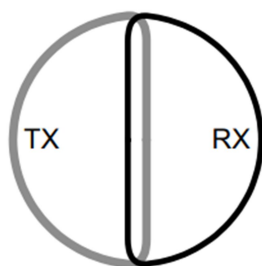
Η μέθοδος μερικής επικάλυψης δύο κυκλικών πηνίων για την επίτευξη ισορροπία επαγωγής χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Alexander Graham Bell. Το πηνίο RX επικαλύπτεται ελαφρώς με το πηνίο TX (Σχήμα 13), έτσι ώστε μέρος του εσωτερικού πεδίου του πηνίου TX να διέρχεται από το πηνίο RX αλλά και μέρος του εξωτερικού πεδίου του πηνίου TX να διέρχεται επίσης από το πηνίο RX. Τα εσωτερικά και εξωτερικά πεδία του πηνίου TX έχουν αντίθετη «πολικότητα», επομένως εάν το πηνίο RX είναι τοποθετημένο με ακρίβεια, είναι δυνατό να ακυρωθούν τα αποτελέσματα των αντίθετων πεδίων. Αυτή η διάταξη πηνίων ονομάζεται διπλό-OO (double-O). [1]



Σχήμα 13: Διάταξη διπλού-OO [2]

2.1.5.2. Διπλά-DD (Double-DD)

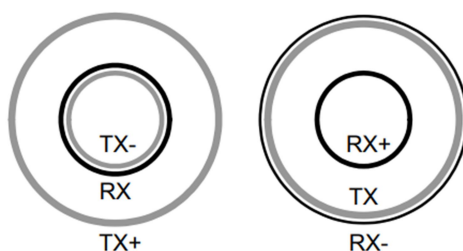
Στα πηνία DD, τα επικαλυπτόμενα τμήματα των πηνίων είναι πεπλατυσμένα (Σχήμα 14), γεγονός που οδηγεί σε μια συνολική κυκλική κεφαλή αναζήτησης που πολλοί άνθρωποι βρίσκουν ευκολότερο να ελίσσονται. Σε αυτήν την διάταξη, κάθε πηνίο μοιάζει με ένα γράμμα "D", επομένως η διάταξη συνήθως ονομάζεται ως Διπλό-DD (Double-DD). Τα διπλά-D πηνία κατοχυρώθηκαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ το 1938 από τον Charles Heddon. Τα πηνία διπλά-DD θεωρούνται ευρέως ως η καλύτερη διάταξη για τα εδάφη υψηλής ορυκτοποίησης. [1]



Σχήμα 14: Διάταξη διπλού-DD [2]

2.1.5.3. Ομόκεντρα πηνία (Coaxial Coils)

Πολλοί ανιχνευτές σήμερα χρησιμοποιούν τα ομόκεντρα πηνία. Αυτή η διάταξη κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1948 στις Η.Π.Α. από τον Harold Wheeler. Κανονικά, εάν τοποθετήσετε ένα πηνίο RX (λήψης) ομόκεντρα μέσα στο πηνίο TX (μετάδοσης), θα έχετε μια τεράστια ποσότητα επαγωγικής σύζευξης. Το κόλπο εδώ είναι να προσθέσετε ένα πηνίο μηδενισμού (buck coil), το οποίο είναι ένα άλλο πηνίο μετάδοσης τοποθετημένο πολύ κοντά στο πηνίο λήψης. Το πηνίο μηδενισμού, λαμβάνει ένα σήμα με 180° διαφορά φάσης από πηνίο λήψης και ακυρώνει το κύριο πεδίο. Το πηνίο μηδενισμού μπορεί να τοποθετηθεί μέσα ή έξω από το πηνίο RX. Τα ομόκεντρα πηνία έχουν γίνει το τυπικό πηνίο αναζήτησης για σχεδόν όλους τους ανιχνευτές, κυρίως επειδή έχουν εξαιρετικό βάθος σε χαμηλή έως μέτρια ορυκτοποίηση, έχουν περίπου την καλύτερη ικανότητα εντοπισμού σημείου όλων των τύπων πηνίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το πηνίο RX (λήψης) είναι το ήμισυ της διαμέτρου του πηνίου TX (μετάδοσης), αν και δεν χρειάζεται να είναι.



Σχήμα 15: Ομόκεντρα πηνία

2.1.5.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε κατηγορίας

Τα πηνία διπλά-OO και διπλά-DD έχουν περίπου την ίδια απόδοση ανίχνευσης. Τα πηνία DD λόγω σχήματός τους έχουν καλύτερη ικανότητα ελιγμών. Ωστόσο, ο υπολογισμός ενός πηνίου D όπως απαιτείται είναι πιο δύσκολος από τον υπολογισμό ενός πηνίου κυκλικού σχήματος. Τα διπλά-DD και το διπλά-OO έχουν καλύτερη απόδοση σε ορυκτό έδαφος. Όμως σε σύγκριση με τα ομόκεντρα πηνία έχουν χειρότερη ικανότητα εντοπισμού σημείου.

Το ομόκεντρο πηνίο λόγω κυκλικού σχήματος τους μπορεί να υπολογιστεί πιο εύκολα από διάταξη DD. Έχει κακή απόδοση σε ορυκτό έδαφος αλλά έχει καλύτερη ικανότητα εντοπισμού σημείου σημείου. Κατά την κατασκευή διάταξης με ομόκεντρο πηνίο η επίτευξη ισορροπίας επαγωγής είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με τα διπλά-DD και διπλά-ΟΟ.

2.1.5.5. Υπολογισμός ενός κυκλικού πηνίου

Για πηνία ανιχνευτών μετάλλων με πυρήνα αέρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο για τον υπολογισμό ενός πηνίου πολλαπλών σπειρών, ο τύπος για τον υπολογισμό ενός τέτοιου πηνίου προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Maxwell:

$$L = 4\pi \cdot r \cdot N^2 \left[\ln\left(\frac{8r}{R}\right) - 2 \right]$$

Όπου:

L – Αυτεπαγωγή (nH)

r – Ακτίνα περιέλιξης (cm)

R – Γεωμετρική μέση απόσταση

N – Αριθμός περιελίξεων

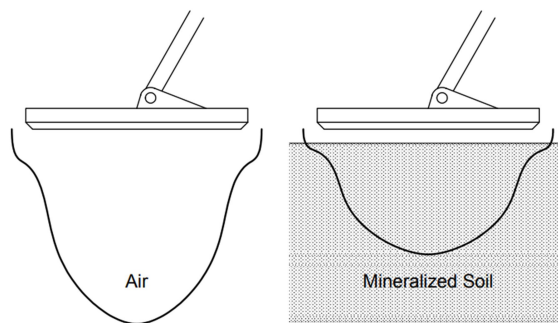
Αργότερα το 1916, αυτή η εξίσωση βελτιώθηκε από τον Edward B. Rosa και το 1931 από τον H. B. Brook. Η εξίσωση του Brook ξαναγράφηκε στη σύγχρονη μορφή από τον George Overton στο βιβλίο «Inside the Metal Detector». [1],[6]

$$L = 400\pi \cdot 10^{-9} \cdot r \cdot N^2 \left[\left(0.5 + \frac{l^2}{48r^2} \right) \cdot \ln\left(\frac{32r}{l^2}\right) - 0.84834 + 0.051 \frac{l^2}{r^2} \right]$$

Για τον ανιχνευτή μετάλλων που σχεδιάσαμε χρησιμοποιήθηκε ο παραπάνω τύπος για τον υπολογισμό των πηνίων και χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπλό-ΟΟ.

2.1.6. Επίδρασεις ορυκτοποίησης

Η ορυκτοποίηση του εδάφους είναι μία από τις μεγαλύτερες μεταβλητές στην ανίχνευση μετάλλων. Το μεγαλύτερο μέρος της ορυκτοποίησης αποτελείται από προϊόντα με βάση το σίδηρο, είτε μαγνητίτη (Fe_3O_4) είτε μαγεμίτη (Fe_2O_3). Είναι και τα δύο οξείδια του σιδήρου. Ο σίδηρος συγκεντρώνει ένα μαγνητικό πεδίο, επομένως η ορυκτοποίηση με βάση τον σίδηρο θα παραμορφώσει το μεταδιδόμενο μαγνητικό πεδίο. Συγκεκριμένα, η ορυκτοποίηση συμπιέζει το πεδίο TX έτσι ώστε να μην διεισδύει τόσο βαθιά. [1]



Σχήμα 16: Η επίδραση ορυκτοποίησης στο μαγνητικό πεδίο

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξηγήσαμε ότι το πηνίο RX είναι προσεκτικά τοποθετημένο στο πεδίο TX έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ισορροπία επαγωγής και ότι δεν χρειάζονται πολλά για να διαταράζεται η ισορροπία. Στην περίπτωση της ορυκτοποίησης του εδάφους, το αποτέλεσμα συμπίεσης στο πεδίο TX μπορεί να είναι αρκετά ισχυρό ώστε να μη ισορροπεί σωστά το πηνίο αναζήτησης και το αποτέλεσμα να είναι ένα μεγάλο, ανεπιθύμητο σήμα στο πηνίο RX λόγω μετατόπισης.

Αυτό το αποτέλεσμα είναι πιο έντονο σε ορισμένα σχέδια και λιγότερο σε άλλα, ανάλογα με τις συμπεριφορές συμμετρίας. Η διάταξη πηνίων διπλού-00 είναι αρκετά ανθεκτικό στην ορυκτοποίηση, επειδή τα κυκλικά πηνία TX και RX ίδιου μεγέθους διατηρούν καλή συμμετρία πεδίου με παραμόρφωση εδάφους.

Τα ομόκεντρα πηνία αναζήτησης που χρησιμοποιούν ένα πηνίο μηδενισμού (Buck-TX) δημιουργούν δύο διαφορετικά μαγνητικά πεδία TX. Το κύριο πηνίο TX παράγει μεγαλύτερο, ισχυρότερο πεδίο ενώ το πηνίο μηδενισμού TX παράγει μικρότερο ασθενέστερο πεδίο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πηνίο μηδενισμού τοποθετείται σε κοντινή απόσταση από το πηνίο RX, έτσι το πεδίο του θα ακυρώσει το κύριο πεδίο TX, επιτυγχάνοντας ισορροπία επαγωγής. Ωστόσο, καθώς το πηνίο αναζήτησης χαμηλώνει στο έδαφος, η ορυκτοποίηση θα συμπιέσει πρώτα το μεγαλύτερο, ισχυρότερο πεδίο (το κύριο πεδίο TX), προκαλώντας ανισορροπία.

2.2. Αρχές ισορροπίας επαγωγής

Η αρχή στην ισορροπία επαγωγής στην πραγματικότητα είναι αρκετά απλή. Υπάρχουν δύο πηνία στην κεφαλή αναζήτησης. Ο ένας οδηγείται από τον ταλαντωτή και ο δεύτερος χρησιμοποιείται για τη λήψη σημάτων από τον πρώτο. Αυτά τα δύο πηνία είναι τοποθετημένα με αλληλεπικαλυπτόμενο τρόπο, έτσι ώστε το πηνίο RX να συζευγνύεται σχεδόν μηδενικά με το πηνίο TX. Όταν ένας μεταλλικός στόχος βρίσκεται σε κοντινή απόσταση στην κεφαλή αναζήτησης, η ροή του μαγνητικού πεδίου του πηνίου εκπομπής διαταράσσεται και έτσι η σύζευξη μεταξύ των πηνίων εκπομπής και λήψης αυξάνεται. Ωστόσο, εκτός από τη σχεδόν μηδενική σύζευξη μεταξύ των πηνίων RX και TX, η συχνότητα ταλάντωσης του πεδίου είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην ανίχνευση μετάλλων.

2.2.1. Συχνότητα εκπομπής

Οι χαμηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος και μπορούν να φτάσουν πιο βαθιά αλλά δεν μπορούν να προκαλέσουν δινορευματικά ρεύματα σε μικρούς στόχους, επομένως δεν θα εντοπίσουν μικρούς αγωγίμους στόχους. Οι υψηλές συχνότητες έχουν μικρότερο μήκος κύματος και δεν μπορούν να φτάσουν τόσο βαθιά όσο οι χαμηλές συχνότητες, αλλά μπορούν να προκαλέσουν δινορεύματα σε μικρούς στόχους, επομένως θα ανιχνεύουν μικρούς αγωγίμους στόχους. Ωστόσο, το μέγεθος του στόχου δεν είναι ο μόνος παράγοντας, η αγωγιμότητα είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας. Οι υψηλότερες συχνότητες θα έχουν καλύτερη απόδοση σε στόχους με χαμηλή αγωγιμότητα και οι χαμηλές συχνότητες θα έχουν καλύτερη απόδοση σε στόχους με υψηλή αγωγιμότητα. Τα δινορεύματα έχουν άμεση σχέση με την συχνότητα ρεύματος με την αγωγιμότητα, με την μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και με το επιδερμικό φαινόμενο. Για αυτό η συχνότητα λειτουργίας του ανιχνευτή μετάλλων επηρεάζει άμεσα τα τύποι των μετάλλων που μπορούν να ανιχνευθούν αλλά και το βάθος ανίχνευσης.

Οι περισσότεροι ανιχνευτές που κυκλοφορούν στην αγορά χρησιμοποιούν 3 kHz-15 kHz για ασήμι, χάλκινους, σιδερένιους στόχους όπως νομίσματα, κλειδιά και 40 kHz – 70 kHz για πολύ μικρά ψήγματα χρυσού. Επομένως, εάν θέλετε έναν ανιχνευτή μετάλλων για την αναζήτηση μεταλλικών αντικειμένων μεγέθους νομίσματος και μεγαλύτερων αντικειμένων, είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσετε μια συχνότητα μεταξύ 3 kHz – 15 kHz. Η σωστή συχνότητα σε αυτό το εύρος ενδέχεται να επηρεάσει το βάθος ανίχνευσης κατά ± 5 cm για ορισμένα μεταλλικά αντικείμενα μεγέθους κέρματος, με το κατάλληλο πηνίο μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα μπορούν να ανιχνευθούν από βάθος των +40 cm. Η σωστή συχνότητα στο

εύρος των 40 kHz – 70 kHz , με το κατάλληλο πηνίο θα έχει βάθος ανίχνευσης ~5cm για τα ψήγματα χρυσού.

Ο δικός μας ανιχνευτής είναι σχεδιασμένος για εύρεση νομισμάτων και μεταλλικών αντικείμενων που μπορούν να βρεθούν στις παραλίες, στα χωράφια π.χ. ρολόγια, κινητά τηλέφωνα, χρυσές λίρες, πέταλα, νάρκες, κέρματα κτλ. Η συχνότητα που χρησιμοποιήσαμε, επιλέχθηκε μετά από πειράματα πραγματοποιήσαμε με τα καθημερινά αντικείμενα. Στις τελευταίες ενότητες θα αναλύσουμε τις μετρήσεις και τα αποτελέσματα με τις διαφορετικές συχνότητες.

3. Μπλοκ διάγραμμα VLF ανιχνευτή

Ο σκοπός της εργασίας μας είναι κατασκευή ενός VLF ανιχνευτή μετάλλου που έχει χρήση για εύρεση μετάλλων κάτω από το έδαφος και συγκεκριμένα κερμάτων ή άλλων μεταλλικών αντικείμενων που έχουν αξία για τον άνθρωπο. Αυτοί οι τύποι ανιχνευτών VLF χρησιμοποιούνται συνήθως από χομπίστες για αναζήτηση μεταλλικών αντικειμένων στις παραλίες, από αρχαιολόγους για να βρουν μεταλλικά αντικείμενα ιστορικής αξίας, από τον στρατό για να ανιχνεύσουν νάρκες ή άλλα εκρηκτικά και επικίνδυνα αντικείμενα που περιέχουν μέταλλο. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, επειδή ο σκοπός του ανιχνευτή είναι να αναζητήσει μεταλλικά αντικείμενα που έχουν το μέγεθος ενός νομίσματος ή μεγαλύτερου απ' αυτού, η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι μεταξύ των 3 kHz - 15 kHz. Η καλύτερη συχνότητα σε αυτό το εύρος προσδιορίστηκε μετά από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με αντικείμενα που έχουν αξία για τον άνθρωπο.

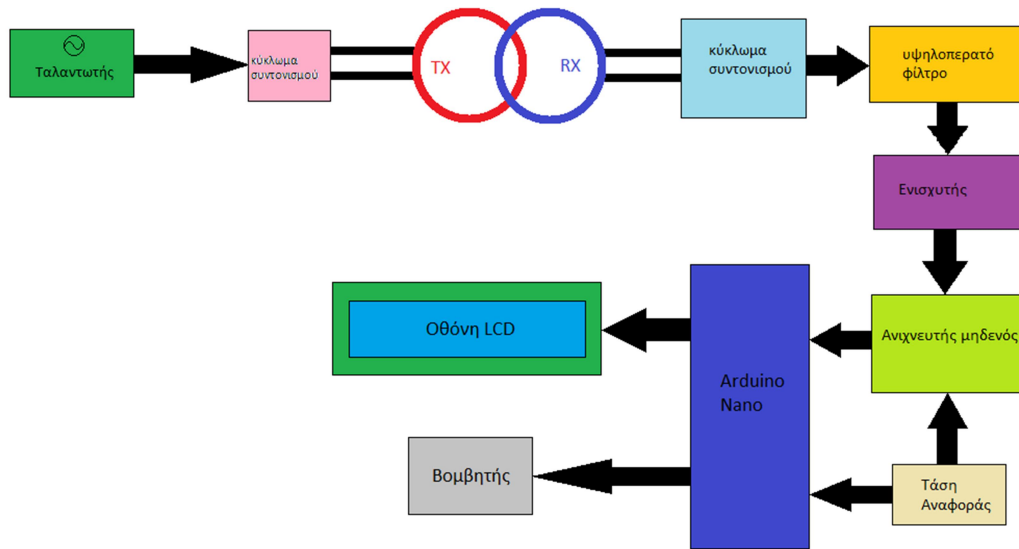
Κατά τον σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη τα όρια που θέτουν οι νόμοι. Σύμφωνα με το νόμο, πρέπει να ληφθεί ειδική άδεια χρήσης για ανιχνευτή μετάλλων και η περιοχή που θα ερευνηθεί πρέπει να δηλωθεί στην αστυνομία. Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκσκαφής είναι 20 cm, για περαιτέρω εκσκαφή απαιτούνται επιπλέον άδειες. Επομένως, για να μην ξεπεραστεί κατά λάθος το όριο των 20 εκατοστών, τα πηνία σχεδιάστηκαν με αναφορά τα νομίσματα, έτσι ώστε τα μεταλλικά αντικείμενα σε μέγεθος κερμάτων να μην μπορούν ανιχνευτούν από τα βάθη που ξεπερνούν τα 20 cm. Φυσικά, μεγαλύτερα και πιο αγωγίμα μεταλλικά αντικείμενα μπορούν να ανιχνευθούν από πιο βαθιά. Το βάθος ανίχνευσης μπορεί να φθάνει έως και 50 cm για μεγάλα και αγωγίμα μεταλλικά αντικείμενα. Θα θέλαμε να σας υπενθυμίσουμε ξανά ότι στόχος της εργασίας είναι η κατασκευή ενός VLF ανιχνευτή με ικανότητα ανίχνευσης μεταλλικών αντικειμένων που έχουν αξία για τον άνθρωπο και κατά την αναζήτησης να αποτρέψει τον χρήστη από επιπλέον νομικές ευθύνες που θα επιφέρει το υπερβολικό βάθος ανίχνευσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, ο ανιχνευτής θα πρέπει να ανιχνεύει μεταλλικά αντικείμενα μεγέθους νομίσματος έως και 20 cm. Για αυτό θα πρέπει να έχει την κατάλληλη συχνότητα, για να έχει την καλύτερη απόκριση από τα μέταλλα. Επίσης πρέπει να ειδοποιεί τον χρήστη ηχητικά και οπτικά για την παρουσία του μετάλλου. Ο ανιχνευτής πρέπει να είναι φορητός και να διαθέτει μπαταρίες για να υποστηρίξουν την απαιτούμενη ισχύ. Για να καλυφτούν αυτές οι ανάγκες σχεδιάσαμε έναν VLF ανιχνευτή μετάλλων που λειτουργεί με την μέθοδος ισορροπία επαγωγής.

3.1. Γενική περιγραφή του μπλοκ διαγράμματος

Όπως εξηγήθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια ένας VLF ανιχνευτής λειτουργεί με την μέθοδο ισορροπία επαγωγής. Ένα πηνίο εκπομπής που οδηγείται από έναν ταλαντωτή είναι τοποθετημένο κατάλληλο έτσι ώστε να μην υπάρχει σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος πηνίου. Δηλαδή το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο του πρωτεύοντος πηνίου να μην επάγει το δευτερεύον πηνίο. Έτσι ώστε όταν ένα μέταλλο βρίσκεται κοντά στα πηνία, ιδικά όταν βρίσκεται κοντά στο σημείο που τα πηνία αλληλεπικαλύπτονται, το μαγνητικό πεδίο του πρωτεύοντος πηνίου να προκαλεί δινορεύματα στον μεταλλικό στόχο. Τα δινορεύματα δημιουργούν το δικό τους μαγνητικό πεδίο με αντίστροφη «πολικότητα». Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δινορεύματα αρχίζει να διαταράζει την μαγνητική ροή του πρωτεύοντος πηνίου, επειδή η μαγνητική ροή του πρωτεύοντος πηνίου αρχίζει «να παραμορφώνεται» η σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος πηνίου αρχίζει να αυξάνεται. Δηλαδή το πρωτεύον πηνίο αρχίζει να επάγει το δευτερεύον πηνίο περισσότερο ή με απλά λόγια μπορούμε να πούμε πως η «ισορροπία» αρχίζει «να διαταράζεται» [1]. Όσο αυξάνεται η σύζευξη μεταξύ των δύο πηνίων, τόσο περισσότερο το πρωτεύον πηνίο (TX) επάγει το δευτερεύον πηνίο (RX) και όσο επάγεται το δευτερεύον πηνίο (RX) τόσο αυξάνεται η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού στο δευτερεύον πηνίο (RX). Η διαφορά δυναμικού πάνω στο δευτερεύον πηνίο είναι το σήμα που υποδεικνύει την παρουσία μετάλλου. Όμως, η ισχύς αυτού του σήματος είναι στις τάξεις των mV. Για αυτό, το σήμα

πρέπει να ενισχυθεί και πρέπει να μετατραπεί σε ηχητικά και οπτικά σήματα για να είναι κατανοητό από τον άνθρωπο. Για επίτευξη όλων αυτών η κατασκευή μας ακολουθεί το έξης διάγραμμα μπλοκ:



Σχήμα 17: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας

Ένας ταλαντωτής Wien χρησιμοποιείται για παραγωγή ενός ημιτονικού σήματος. Ο ταλαντωτής οδηγείται στο πηνίο εκπομπής (Tx). Το πηνίο εκπομπής είναι συντονισμένο με τον ταλαντωτή. Το πηνίο εκπομπής και λήψης βρίσκονται μαζί μέσα στη «κεφαλή αναζήτησης» με τον τρόπο έτσι ώστε να έχουν μηδενική σύζευξη μεταξύ τους. Το πηνίο λήψης είναι συντονισμένο στην συχνότητα του ταλαντωτή, όταν ένα μέταλλο θα διαταράζει την ισορροπία επαγωγής το σήμα που θα δημιουργηθεί πάνω στο πηνίο θα έχει ίδια συχνότητα με την συχνότητα του πομπού. Επειδή το σήμα που δημιουργείται πάνω στο πηνίο του δέκτη θα είναι πολύ ασθενές, θα υπάρχουν θόρυβοι. Για αυτό πρώτα, το πηνίο οδηγείται σε ένα υψηλοπερατό και μετά σε έναν προενισχυτή. Το σήμα μετά την προενίσχυση οδηγείται στον ανιχνευτή μηδενός.

Ο ανιχνευτής μηδενός είναι μία διάταξη συγκριτή που αλλάζει κατάσταση στην έξοδο του, όταν η τάση εισόδου γίνει θετικότερη ή αρνητικότερη του μηδενός [9]. Στην δικιά μας διάταξη, για τις καταστάσεις θετικότερες του μηδενός, η έξοδος του συγκριτή γίνεται ΥΨΗΛΗ (HIGH). Αυτό σημαίνει πως για θετικούς ημιπεριόδους του ημιτονικού σήματος στην είσοδο του συγκριτή θα έχουμε υψηλές καταστάσεις στην έξοδο του συγκριτή, δηλαδή παλμούς. Στην πραγματικότητα, το σήμα πρέπει να γίνει μεγαλύτερη της τάσης σφάλματος της διαφορικής βαθμίδας εισόδου του συγκριτή. Για την είσοδο, δηλαδή για τις θετικές ημιπεριόδους του ημιτονικού σήματος που έχουν πλάτος μεγαλύτερο από την τάση του σφάλματος, στην έξοδο του συγκριτή θα έχουμε υψηλές καταστάσεις (παλμούς). Για παράδειγμα σε ασθενέστερα ημιτονικά σήματα, στην είσοδο του συγκριτή επειδή μόνο οι κορυφές τις θετικές ημιπεριόδου θα είναι μεγαλύτερες από την τάση σφάλματος του συγκριτή, στην έξοδο του συγκριτή θα έχουμε παλμούς με μικρούς κύκλους εργασίας. Όσο η ισχύς του σήματος θα αυξηθεί, το πλάτος της θετικής ημιπεριόδου θα αυξηθεί και αυτό σημαίνει πως περισσότερες τιμές θα είναι μεγαλύτερες από τάση σφάλματος του συγκριτή με αποτέλεσμα ο κύκλος εργασίας στην έξοδο του συγκριτή να αυξάνεται.

Περίληπτικά αυτό σημαίνει πως όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου, η σύζευξη μεταξύ των πηνίων TX και RX είναι μηδενική και δεν υπάρχει μια διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX, εφόσον δεν υπάρχει σήμα, η έξοδος του συγκριτή μηδενός θα είναι σε χαμηλή κατάσταση (LOW). Όταν θα υπάρχει παρουσία

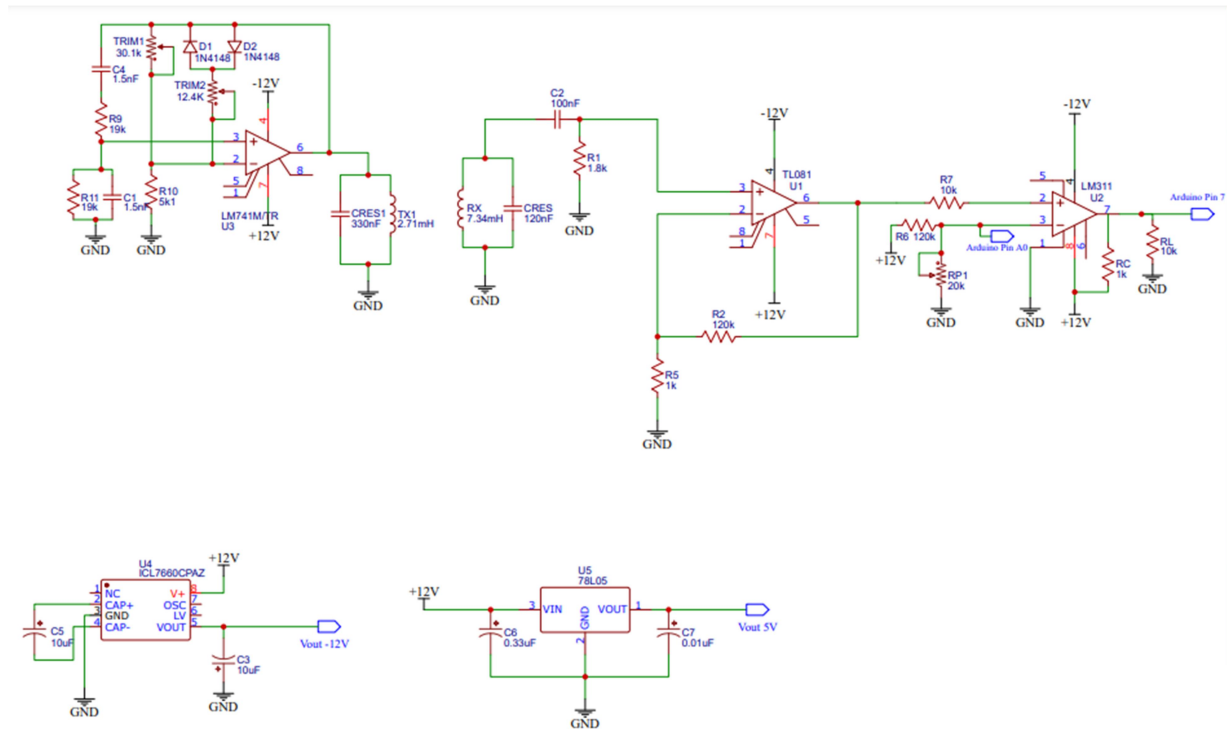
μετάλλου ένα ασθενές σήμα θα δημιουργηθεί πάνω στο RX με αποτέλεσμα στην έξοδο του συγκριτή μηδενός να δημιουργούνται παλμούς με χαμηλούς κύκλους λειτουργίας. Θα υπάρχουν παλμούς με χαμηλούς κύκλους διότι μόνο ένα μέρος του ημιτονικού σήματος θα έχει μεγαλύτερες τιμές από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός. Όσο θα δυναμωθεί η παρουσία μετάλλου, η σύζευξη μεταξύ των πηνίων TX και RX θα αυξηθεί και θα δημιουργηθεί μια μεγαλύτερη εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX, δηλαδή θα υπάρχει ένα ισχυρότερο σήμα. Αυτό σημαίνει πως, το πλάτος του ημιτονικού σήματος θα αυξηθεί με αποτέλεσμα μεγαλύτερο ποσό της ημιπεριόδου του ημιτονικού σήματος να είναι μεγαλύτερο από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός και έτσι να αυξάνεται ο κύκλος εργασίας των παλμών στην έξοδο του συγκριτή μηδενός. Με αυτή την μέθοδο δεν ανιχνεύεται μόνο η παρουσία μετάλλου αλλά και ισχύς του σήματος. Η ανίχνευση της ισχύς του σήματος μπορεί να ειδοποίηση τον χρήστη για πόσο κοντά βρίσκεται το μέταλλο ή μπορεί να δώσει μια ιδέα για πόσο μεγάλο είναι το μέταλλο.

Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, όταν υπάρχει ιδανική μηδενική σύζευξη δεν θα δημιουργηθεί διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX. Δεν θα υπάρχει ένα σήμα επομένως επειδή δεν θα υπάρχει μια τάση (σήμα) μεγαλύτερη από τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός, η κατάσταση στην έξοδο του συγκριτή θα είναι χαμηλή και επειδή η κατάσταση είναι χαμηλή ο χρήστης θα ξέρει ότι δεν υπάρχει καμία παρουσία μετάλλου. Όμως στις πραγματικές συνθήκες αυτό δεν ισχύει, μια μικρή διαφορά δυναμικού πάντα θα υπάρχει πάνω στο πηνίο. Αυτό οφείλεται στους ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους και στη τοποθέτηση των πηνίων. Όσο προσεκτικά και να είναι τοποθετημένα τα πηνία, δεν θα υπάρξει απόλυτη μηδενική σύζευξη μεταξύ των δύο πηνίων. Όσο και καλά να είναι ισορροπημένα τα πηνία, το πρωτεύον πηνίο θα επάγει το δευτερεύον και θα υπάρχει μια πολύ μικρή εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο λήψης. Αν και ακόμα μετά μετά την ενίσχυση αυτό το σήμα είναι στις τάξεις των mV, είναι επαρκής για να ενεργοποίηση τον ανιχνευτή μηδενός. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μια τάση αναφοράς για τον προσδιορισμό του μηδέν στην είσοδο. Έχουμε μια τάση αναφοράς που ρυθμίζεται με το ποτενσιόμετρο, προσδιορίζουμε την τάση αναφοράς λίγο υψηλότερη από το πλάτος κορυφής αυτού του θορύβου που προκαλείται από ελάχιστη σύζευξη μεταξύ των πηνίων. Ότι τιμή περνάει αυτή την τάση αναφοράς θα ενεργοποίηση τον συγκριτή μηδενός. Με απλά λόγια αυτή η τάση αναφοράς είναι η αναφορά μηδενός για τον συγκριτή. Αυτή η αναφορά μηδενός είναι πολύ σημαντική για δύο λόγους. Πρώτον, βοηθά στην ακύρωση των ανεπιθύμητων σημάτων θορύβου. Δεύτερον, βοηθά στη βαθμονόμηση του ανιχνευτή μετάλλων στα ορυκτοποιημένα εδάφη. Όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο της ορυκτοποίησης εδάφους, η ορυκτοποίηση «συμπιέζει» το μαγνητικό πεδίο και αυξάνει τη σύζευξη μεταξύ των πηνίων δημιουργώντας έτσι ένα ανεπιθύμητο σήμα πάνω στο πηνίο RX. Με το ποτενσιόμετρο η αναφορά μηδενός μπορεί να επαναρυθμιστεί. Πριν από κάθε χρήση, η αναφορά μηδενός πρέπει να ρυθμίζεται, επειδή η ορυκτοποίηση θα δημιουργήσει ένα μικρό ανεπιθύμητο σήμα πάνω στο πηνίο RX, ο ανιχνευτής μετάλλων μπορεί να δώσει ψευδή ένδειξη για παρουσία μετάλλου. Η επαναρύθμιση της αναφοράς μηδενός δεν θα επηρεάσει το βάθος ανίχνευσης.

Η έξοδος του συγκριτή μηδενός και η τάση αναφοράς για μηδέν οδηγούνται στον μικροελεγκτή. Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, όταν ΔΕΝ υπάρχει παρουσία μετάλλου η κατάσταση στην έξοδο του συγκριτή μηδενός είναι χαμηλή και όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου η κατάσταση γίνεται υψηλή. Συγκεκριμένα, τετραγωνικοί παλμοί αρχίζουν να δημιουργούνται. Όταν η παρουσία μετάλλου είναι «ασθενές» δηλαδή όταν το σήμα δεν είναι ισχυρό, αυτοί οι τετραγωνικοί παλμοί έχουν μικρό κύκλο εργασίας. Όσο «δυναμώνει» η παρουσία μετάλλου αυτός ο κύκλος εργασίας αυξάνεται. Ο κύκλος εργασίας κυμαίνεται από 0% έως 50%. Ο μικροελεγκτής «διαβάζει» την διάρκεια των παλμών, όταν ο κύκλος εργασίας είναι 0% σημαίνει ότι δεν υπάρχει μέταλλο. Όταν ο κύκλος εργασίας είναι μεταξύ των 1% έως 50% σημαίνει ότι υπάρχει μέταλλο. Η παρουσία μετάλλου υποδεικνύεται γραφικά σε μια οθόνη LCD. Επίσης η αναφορά μηδενός εμφανίζεται στην οθόνη LCD. Υπάρχει μια μπάρα στην οθόνη LCD καθώς ο κύκλος

εργασίας αυξάνεται, η μπάρα γεμίζει. Επίσης, καθώς η μπάρα γεμίζει ο τόνος του βομβητή αλλάζει. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης ειδοποιείται για την παρουσία μετάλλου.

Αυτή είναι η περιγραφή του μπλοκ διαγράμματος και η περιγραφή λειτουργίας του VLF ανιχνευτή. Στα παρακάτω υποκεφάλαια, κάθε μπλοκ θα εξηγηθεί αναλυτικά. Θα δοθούν τεχνικές λεπτομέρειες για κάθε μπλοκ. Επίσης θα εξηγηθούν κάποιες διαδικασίες δοκιμών που έγιναν κατά την διαδικασία σχεδιασμού και ήταν καθοριστικές για την επιλογή συχνότητας και πηνίων. Επίσης κατά την διαδικασία σχεδιασμού επιλέξαμε την πιο οικονομική λύση για την τροφοδοσία της συσκευής αλλά ταυτόχρονα και για να είναι φορητή.



Σχήμα 18: Τα κυκλώματα

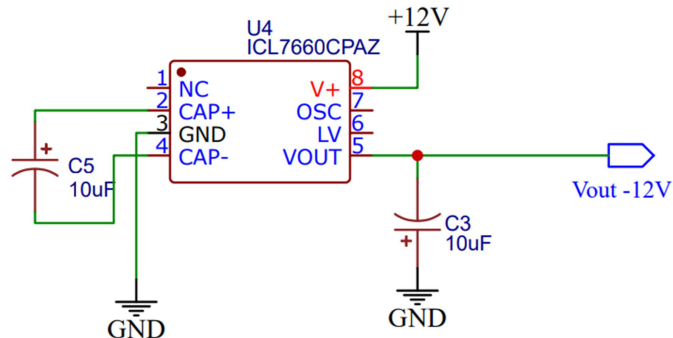
3.1.1. Τροφοδοσία

Για την τροφοδοσία του ταλαντωτή, του ενισχυτή και του συγκριτή μηδενός απαιτούνται $\pm 12V$ συμμετρική τάση και για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή απαιτείται 5V. Για τροφοδοσία 12V χρησιμοποιήθηκαν 2 μπαταρίες A23 και συνδέθηκαν παράλληλες. Για ανάστροφη τάση -12V χρησιμοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μετατροπέα 7660 και έναν σταθεροποιητή 78L05 για τα 5V.

3.1.1.1. 7660

Το 7660 είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα CMOS το οποίο χρησιμοποιείται για αναστροφή τάσης από (+1,5 έως +10 V) σε (-1,5 V έως -10 V). Να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα δεν είναι η ιδανικότερη επιλογή για 12V τροφοδοσία αλλά στην περίοδο που υλοποιήθηκε η κατασκευή, λόγω της κρίσης των τσιπ ήταν η μόνη επιλογή, παρόλο αυτά μπορεί να ανατρέψει τα 12V με μια πολύ μικρή ανοχή. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα απαιτεί μόνο δύο εξωτερικούς πυκνωτές για το κύκλωμα αναστροφής τάσης. Οι τιμές των πυκνωτών είναι προκαθορισμένες τιμές που δίνονται στο φύλλο δεδομένων. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται ανάλογα με την πολικότητα στο κύκλωμα. Ειδικά, η άνοδος του πυκνωτή C3 πρέπει να συνδεθεί στη γείωση και η κάθοδος στο ποδαράκι 5 του 7660. Επειδή ο ανιχνευτής

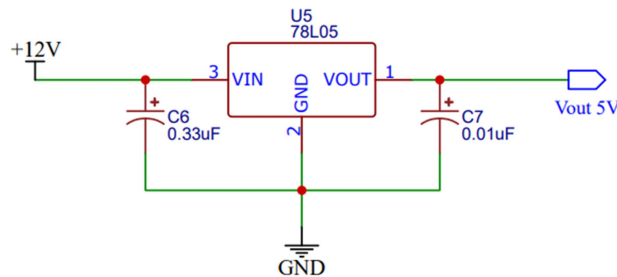
μετάλλων είναι μια φορητή συσκευή, η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος ήταν ο καθοριστικός παράγοντας για τη χρήση αυτού του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου κυκλώματος.



Σχήμα 19: ICL7660

3.1.1.2. 78L05

Ο 78L05 είναι ένας σταθεροποιητής τάσης τριών ακροδεκτών. Οι τρεις ακροδέκτες είναι Είσοδος, Έξοδος και Γείωση. Με αυτόν τον σταθεροποιητή, η είσοδος των 12V σταθεροποιείται στα 5V. Το ρεύμα εξόδου αυτού του ολοκληρωμένου κυκλώματος μπορεί να φτάσει τα 100 mA. Οι πυκνωτές C6 και C7 χρησιμοποιούνται στην είσοδο και στην έξοδο. Αυτοί οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για το φιλτράρισμα τυχόν θορύβου στην τάση εισόδου. Οι τιμές των πυκνωτών είναι προκαθορισμένες τιμές που δίνονται στο φύλλο δεδομένων.



Σχήμα 20: 78L05

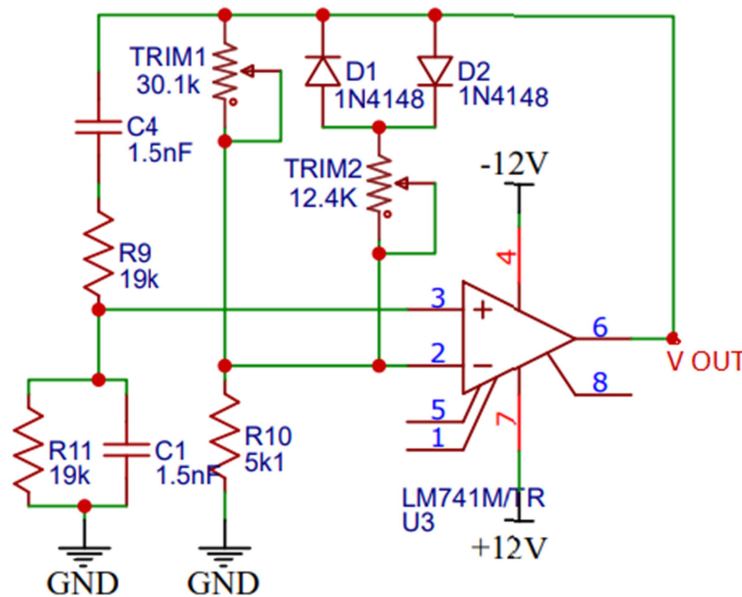
3.1.1.3. Μπαταρίες και διακόπτης

Για την τροφοδοσία του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν 2 μπαταρίες A23. Για να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα των μπαταριών, οι μπαταρίες συνδέθηκαν παράλληλα. Ένας συρόμενος διακόπτης χρησιμοποιήθηκε για το άνοιγμα και το κλείσιμο του κυκλώματος. Οι μπαταρίες A23 προτιμήθηκαν για 2 λόγους, είναι φθηνές και δεν έχουν βάρος. Μετά την υλοποίηση της κατασκευής η κατανάλωση του συστήματος μετρήθηκε 50 mA, 2 μπαταρίες A23 συνδεδεμένες παράλληλα, μπορούν να τροφοδοτήσουν τον ανιχνευτή μετάλλων για 45 λεπτά. Αυτός ο χρόνος είναι αρκετός για πειράματα και δοκιμές σε εξωτερικούς χώρους.

3.1.2. Ταλαντωτής

Όπως εξηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο απαιτείται για την μέθοδο ισορροπία επαγωγής. Για να δημιουργηθεί το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, το πηνίο πρέπει να διαιρεθεί από ένα εναλλασσόμενο ρεύμα. Εξηγήθηκε επίσης ότι η συχνότητα αυτού του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου είναι ένας σημαντικός παράγοντας γιατί αυτή η συχνότητα καθορίζει τα δινορεύματα που θα προκληθούν. Όπως εξηγείται στο Κεφάλαιο 2.2.1, τα μέταλλα που θέλουμε να ανιχνεύσουμε είναι μεταλλικά αντικείμενα όπως νομίσματα, δαχτυλίδια κ.λπ. Και η καλύτερη συχνότητα που θα προκαλέσει δινορεύματα σε αυτά τα μεταλλικά αντικείμενα είναι στην περιοχή των 3 kHz - 15 kHz. Για το λόγο αυτό χρειάζεται έναν ταλαντωτή που λειτουργεί σε αυτές τις συχνότητες. Η έξοδος του ταλαντωτή θα οδηγηθεί στο πηνίο πομπού. Το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται από τον ταλαντωτή θα διαρρέει το πηνίο. Επειδή το πηνίο θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο θα δημιουργηθεί γύρω από το πηνίο. Για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω ένας ταλαντωτής Wien χρησιμοποιήθηκε.

Ο ταλαντωτής Wien χρησιμοποιείται γενικά για συχνότητες κάτω από 1 MHz και συνήθως για γεννήτριες σημάτων ακουστικής συχνότητας (20 Hz – 20 kHz) [9],[10]. Το εύρος συχνοτήτων στο οποίο χρησιμοποιείται ο ταλαντωτής Wien το καθιστά την καλύτερη επιλογή καθώς βρίσκεται στην περιοχή 3 kHz - 15 kHz που απαιτείται για τον VLF ανιχνευτή μετάλλων. Ο ταλαντωτής λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο.



Σχήμα 21: Κύκλωμα ταλαντωτή Wien

Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή ανατροφοδοτείται και στις δύο εισόδους του ενισχυτή. Ένα μέρος του σήματος ανάδρασης συνδέεται με την αναστρέφουσα είσοδο μέσω του δικτύου διαιρετών αντιστάσεων των R10, TRIM 1 και TRIM 2, που επιτρέπουν τη ρύθμιση της τάσης εξόδου και τη ρύθμιση παραμόρφωσης. Οι δίοδοι D1 και D2 χρησιμοποιούνται για περιορισμό της τάσης εξόδου. Το άλλο μέρος, το οποίο σχηματίζει τη σειρά και τους παράλληλους συνδυασμούς αντιστάσεων R9, R11 και πυκνωτών C1, C4, σχηματίζει το δίκτυο ανάδρασης και ανατροφοδοτείται στη μη-αναστρέφουσα είσοδο μέσω του δικτύου RC Wien και αυτός ο συνδυασμός θετικής ανάδρασης είναι που προκαλεί την

ταλάντωση. Το δίκτυο RC είναι συνδεδεμένο στη θετική ανάδρασης του ενισχυτή και έχει μηδενική μετατόπιση φάσης σε μία μόνο συχνότητα. Στη συνέχεια, στην επιλεγμένη συχνότητα συντονισμού, οι τάσεις που εφαρμόζονται στις αναστρέφουσα είσοδο και μη- αναστρέφουσα θα είναι ίσες και «σε φάση», έτσι ώστε η θετική ανάδραση να ακυρώνει το αρνητικό σήμα ανάδρασης προκαλώντας ταλάντωση του κυκλώματος. [10]

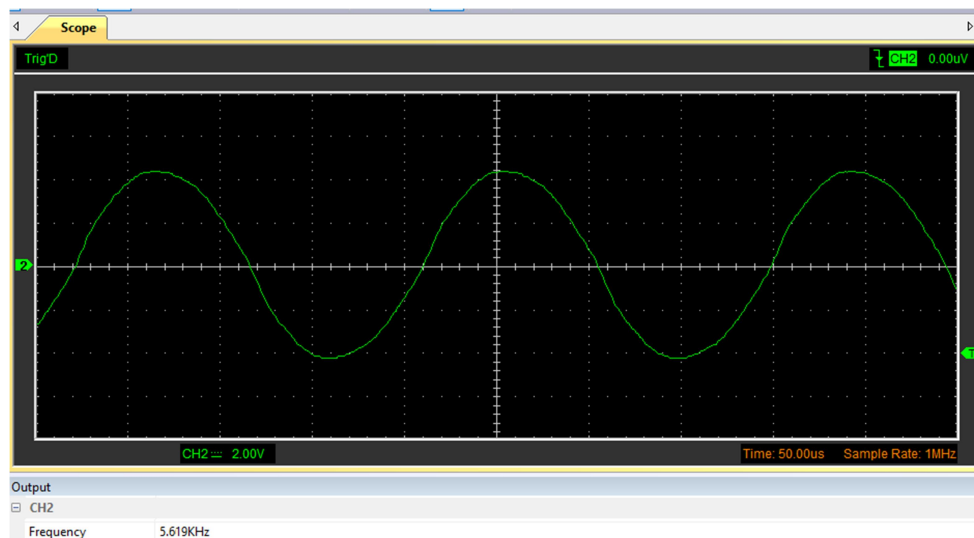
Η συχνότητα ταλάντωσης του ταλαντωτή καθορίζεται από τις τιμές των στοιχείων του δικτύου Wien R9,R11,C1,C4 και ισούται με:

$$f = \frac{1}{2\pi R_9 C_4}$$

Στην πρώτη υλοποίηση, το κύκλωμα συντονίστηκε στα 6 kHz. Οι τιμές των αντιστάσεων ήταν R9=R11= 17,6 kΩ και οι τιμές των πυκνωτών ήταν C1=C4= 1,5 nF. Όμως μετά από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν μετά την υλοποίηση της κατασκευής έγιναν δοκιμές με 4 συχνότητες, αυτές οι συχνότητες ήταν:

- 3,9 kHz
- 5,6 kHz
- 6 kHz
- 7,7 kHz

Η συχνότητα των 5,6 kHz έδωσε το καλύτερο αποτέλεσμα και το κύκλωμα συντονίστηκε στα 5,6 kHz. Οι δοκιμές πεδίου θα αναλυθούν στο Κεφάλαιο 5.



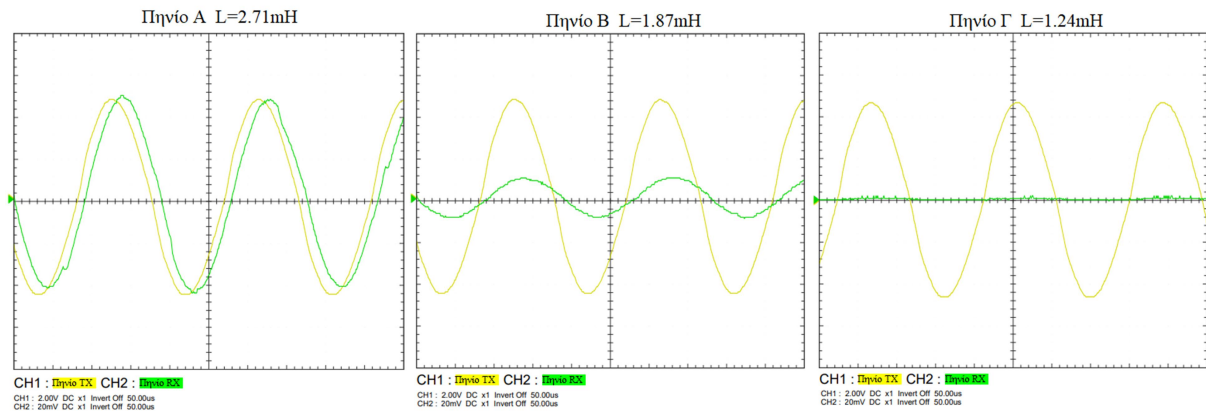
Σχήμα 22: Η έξοδος του κυκλώματος Wien

3.1.3. Πομπός

Πριν να αναλύσουμε καλά είναι να υπενθυμίσουμε πως λειτουργεί η μέθοδος ισοροπίας επαγωγής. Το πηνίο TX οδηγείται από έναν ταλαντωτή, ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται γύρω από το πηνίο. Το δευτερεύον πηνίο RX τοποθετείται σε κατάλληλη θέση έτσι ώστε να μην επάγεται από το πηνίο TX, δηλαδή τα πηνία έχουν μηδενική σύζευξη μεταξύ τους. Τα πηνία βρίσκονται στο μέρος που ονομάζεται «κεφαλή αναζήτησης». Όταν ένα μέταλλο βρίσκεται κοντά στην κεφαλή αναζήτησης, η μαγνητική ροή του πηνίου TX παραμορφώνεται και αρχίζει να επάγει το πηνίο RX. Με απλά λόγια η

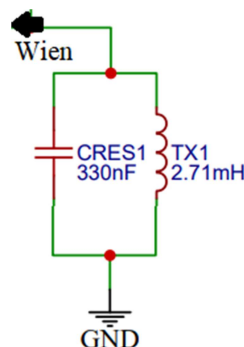
σύζευξη μεταξύ πηνίων αυξάνεται και αρχίζει να δημιουργείται μια εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX, δηλαδή η λεγόμενη ισορροπία επαγωγής αρχίζει «να διαταράσσεται». Για να επιτευχθούν όλα αυτά τα παραπάνω, το πηνίο TX πρέπει να έχει ένα ικανό μαγνητικό πεδίο έτσι ώστε να μπορέσει να προκαλέσει δινορεύματα σε ένα νόμισμα από 20 cm. Ένα πηνίο με επαγωγή 2.71 mH θα είναι αρκετό για αυτόν τον σκοπό.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου θα αυξηθεί ανάλογα με την αυτεπαγωγή του πηνίου. Η τιμή αυτεπαγωγής του πηνίου που μπορεί να προκαλεί δινορεύματα σε ένα νόμισμα από 20 cm απόσταση προσδιορίστηκε μετά από μια σειρά δοκιμών. Τυλίχθηκαν 3 πηνία TX με επαγωγή 1,24 mH, 1,87 mH και 2,71 mH και ένα πηνίο RX με επαγωγή 7,34 mH. Τα 3 πηνία δοκιμάστηκαν ένα ένα. Σε κάθε δοκιμή τα πηνία συνδέθηκαν με την σειρά (με κατάλληλο κύκλωμα συντονισμού) στον ταλαντωτή. Το πηνίο RX τοποθετήθηκε με αλληλεπικαλυπτόμενο τρόπο έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη σύζευξη με το πηνίο TX. Ένας παλμογράφος συνδέθηκε στα άκρα του πηνίου RX. Ένα νόμισμα φέρθηκε κοντά στη διάταξη των πηνίων και παρατηρήθηκε η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού στο πηνίο RX. Μετά από επανάληψη του ίδιου πειράματος και με τα 3 πηνία παρατηρήθηκε πως το πηνίο με επαγωγή 2,71 mH παρήγαγε ικανό μαγνητικό πεδίο για να ανιχνευτεί ένα νόμισμα από 20 cm (Σχήμα 23) . Τα υπόλοιπα πηνία είχαν ασθενέστερα μαγνητικά πεδία που δεν κάλυπταν τις ανάγκες.



Το σήμα που προκαλείται πάνω στο πηνίο RX από ένα μεταλλικό αντικείμενο από απόσταση 10cm

Σχήμα 23: Μετρήσεις πειραμάτων για επιλογή του πηνίου TX



Σχήμα 24: Η συνδεσμολογία του πηνίου TX

Το πηνίο συνδέθηκε παράλληλα με έναν πυκνωτή για να σχηματίσει ένα κύκλωμα συντονισμού LC (Σχήμα 24). Τα κυκλώματα συντονισμού χρησιμοποιούνται ως φίλτρα ζώνης, που σημαίνει ότι επιλέγουν

ένα σήμα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα από ένα πιο περίπλοκο σήμα. Η συχνότητα συντονισμού είναι η φυσική, χωρίς απόσβεση συχνότητα ενός συστήματος. Αν εφαρμόζουμε μια συχνότητα συντονισμού, οι ταλαντώσεις φθάνουν στο μέγιστο πλάτος. Ακόμη και σχετικά μικρές δυνάμεις μπορούν να παράγουν μεγάλα πλάτη. Η συχνότητα συντονισμού για LC συνδεσμολογία μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

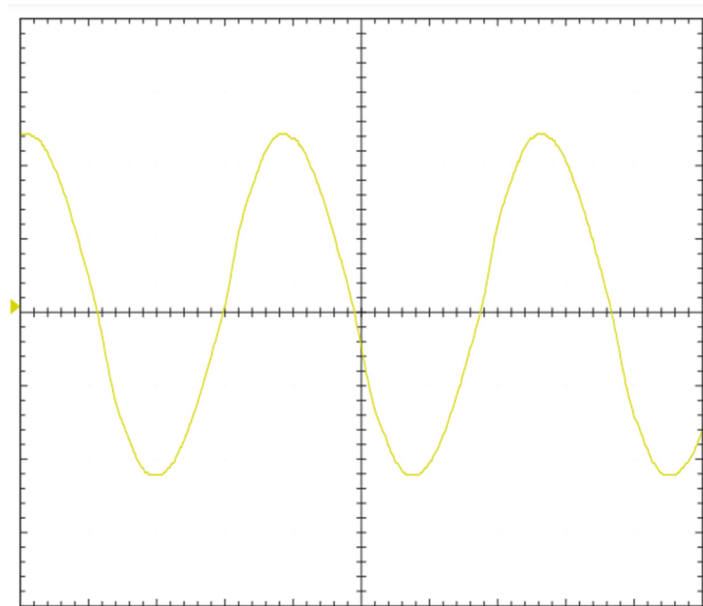
Στην περίπτωσή μας η συχνότητα και η αυτεπαγωγή είναι γνωστές. Η χωρητικότητα του πυκνωτή για μια δεδομένη συχνότητα και αυτεπαγωγή σε ένα κύκλωμα συντονισμού LC μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

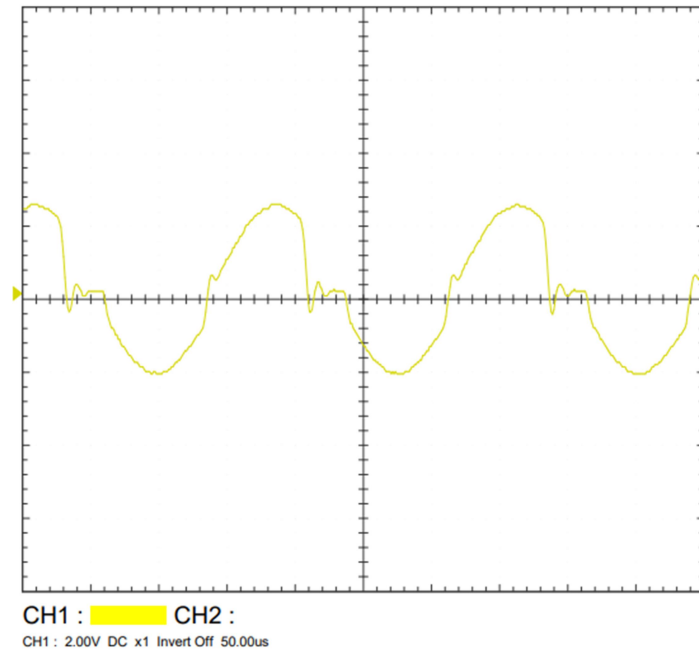
Εάν η χωρητικότητα και η συχνότητα είναι γνωστές, η αυτεπαγωγή πηνίου για μια δεδομένη συχνότητα και χωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί σε ένα κύκλωμα συντονισμού LC με την ακόλουθη εξίσωση:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

Πυκνωτής C_{Res1} με 330 nF χωρητικότητα χρησιμοποιήθηκε για να συντονιστεί το πηνίο TX με τον ταλαντωτή.

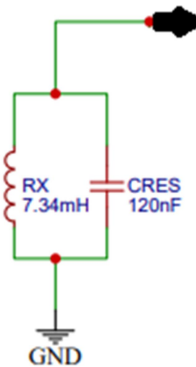


Σχήμα 25: Σήμα του πηνίου TX με πυκνωτή συντονισμού



Σχήμα 26: Σήμα του πηνίου TX χωρίς πυκνωτή συντονισμού

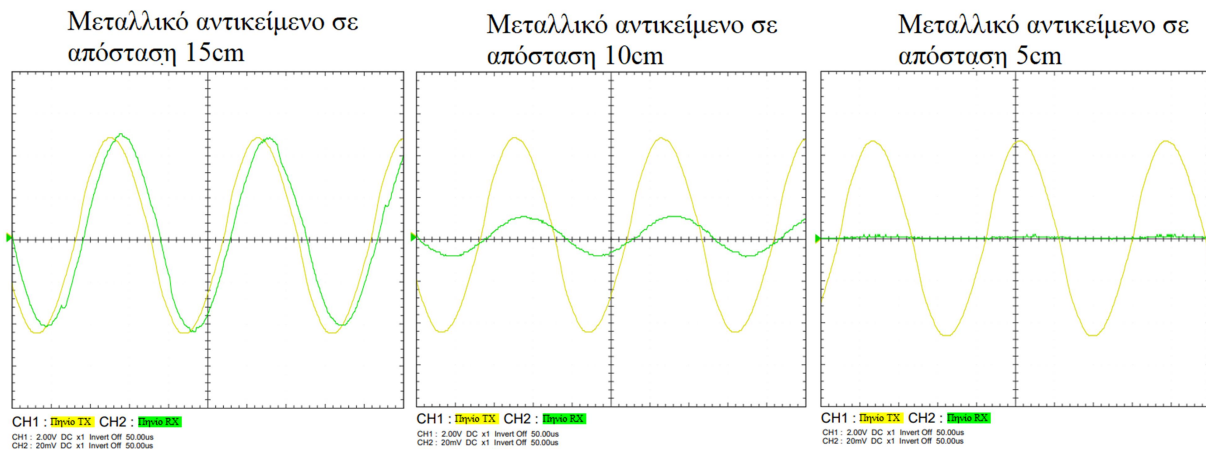
3.1.4. Δέκτης



Σχήμα 27: Η συνδεσμολογία του πηνίου RX

Το πηνίο δέκτη τοποθετείται με έναν τρόπο έτσι ώστε να μην επάγεται καθόλου από το πηνίο TX. Όταν ένα μέταλλο θα είναι κοντά στο πηνίο TX τα δινορεύματα θα προκληθούν λόγω του μαγνητικού πεδίου του πηνίου TX, τα δινορεύματα στο ανιχνευόμενο μεταλλικό αντικείμενο θα δημιουργήσουν το δικό τους μαγνητικό πεδίο με αντίστροφη πολικότητα και αυτό το πεδίο θα παραμορφώσει την μαγνητική ροή του πηνίου TX. Η μαγνητικές γραμμές του πηνίου TX θα αρχίσουν «να πέφτουν» πάνω στο πηνίο RX και έτσι θα επάγει το πηνίο RX (Θα αυξήσει την σύζευξη μεταξύ των πηνίων) . Γενικά για το πηνίο RX είναι καλύτερο να έχει περισσότερες περιελίξεις από το πηνίο TX. Όταν το πηνίο TX θα επάγει το πηνίο RX, θα δημιουργηθεί μια εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX. Από αυτό το σημείο και μετά η διάταξη θα αρχίσει να λειτουργεί κάπως σαν έναν μετασχηματιστή. Οι περισσότερες περιελίξεις στο πηνίο RX σημαίνουν πως η τάση θα αρχίσει να αυξάνεται σε σύγκριση με το πηνίο TX αλλά επειδή δεν υπάρχει μια ιδανική σύζευξη μεταξύ των πηνίων, αυτό το φαινόμενο δεν θα είναι όπως ακριβώς στους μετασχηματιστές. Απλά μια μικρή διαφορά δυναμικού θα αρχίζει να γίνει διακριτή πάνω στο πηνίο RX

και όσο πλησιάζει το μέταλλο η σύζευξη μεταξύ των 2 πηνίων θα αυξάνεται και αυτή η διαφορά δυναμικού θα γίνει ισχυρότερη και ισχυρότερη αλλά πάλι θα είναι στις τάξεις των μερικών δεκάδων mV.



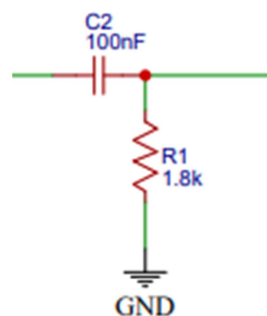
Σχήμα 28: Το σήμα που προκαλεί το μεταλλικό αντικείμενο από διαφορετικές αποστάσεις

Για μέγιστη απόδοση το πηνίο RX πρέπει να είναι συντονισμένο στην συχνότητα λειτουργίας. Πάλι ένα κύκλωμα συντονισμού LC χρησιμοποιήθηκε. Επειδή η συχνότητα και η αυτεπαγωγή είναι γνωστές. Η χωρητικότητα του πυκνωτή υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

Πυκνωτής C_{Res2} με 120 nF χωρητικότητα χρησιμοποιήθηκε για συντονισμό του πηνίου RX. Και στην μέγιστη σύζευξη δηλαδή στις περιπτώσεις που ένα μέταλλο βρίσκεται πολύ κοντά στα πηνία. Η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX δεν θα είναι παραπάνω από μερικές δεκάδες mV. Αυτό το σήμα πρέπει να ενισχυθεί αλλά πριν την ενίσχυση πρέπει να αφαιρεθεί από τους θορύβους. Για αυτό τον λόγο ένα υψηλοπερατό φίλτρο χρησιμοποιήθηκε.

3.1.5. Φίλτρο



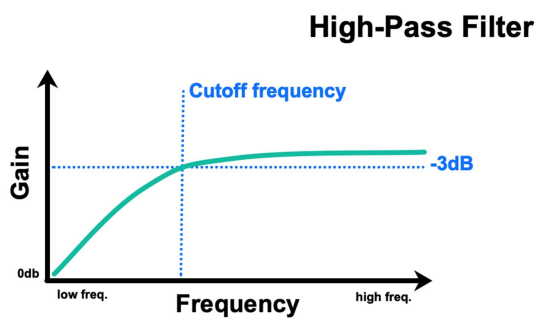
Σχήμα 29: Συνδεσμολογία υψηλοπερατού φίλτρου

Για αφαίρεση των θορύβων χρησιμοποιήθηκε ένα υψηλοπερατό φίλτρο. Ένα υψηλοπερατό φίλτρο είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που αφαιρεί σήματα χαμηλής συχνότητας από ένα δεδομένο σήμα AC. Με άλλα λόγια, κόβει τις χαμηλές συχνότητες και αφήνει τις υψηλές συχνότητες να περάσουν. Σε ένα φίλτρο,

η συχνότητα που καθορίζει το «όριο» σε ποια συχνότητα θα ξεκινήσει η αποκοπή ονομάζεται η συχνότητα αποκοπής (f_c). Για ένα φίλτρο RC η συχνότητα αποκοπής υπολογίζεται από παρακάτω εξίσωση:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_2}$$

Η χωριτική αντίσταση του πυκνωτή είναι πολύ υψηλή στις χαμηλές συχνότητες, επομένως ο πυκνωτής λειτουργεί σαν ανοιχτό κύκλωμα και μπλοκάρει τυχόν σήματα εισόδου έως ότου επιτευχθεί το σημείο συχνότητας αποκοπής (f_c). Πάνω από αυτό το σημείο της συχνότητας αποκοπής, η χωριτική αντίσταση του πυκνωτή μειώνεται αρκετά έτσι ώστε ο πυκνωτής τώρα μπορεί να λειτουργεί περισσότερο σαν κλειστό κύκλωμα που επιτρέπει σε όλο το σήμα να περάσει, όπως φαίνεται παρακάτω στην καμπύλη απόκρισης των φίλτρων. [14]



Σχήμα 30: Απόκριση των φίλτρων [3]

Η συχνότητα αποκοπής προσδιορίστηκε μετά από μια σειρά δοκιμών. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με 7 διαφορετικές συχνότητες αποκοπής για να προσδιοριστεί η καταλληλότερη συχνότητα. Οι συχνότητες αποκοπής προς δοκιμή προσαρμόστηκαν αλλάζοντας την τιμή της αντίστασης. Οι συχνότητες αποκοπής και οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για να προσαρμοστούν αυτές είναι έξης:

3300 Ω	482.3 Hz
2200 Ω	723.4 Hz
1800 Ω	884.2 Hz
1200 Ω	1326.3 Hz
1000 Ω	1591.5 Hz
800 Ω	3789.4 Hz
420 Ω	3789.4 Hz

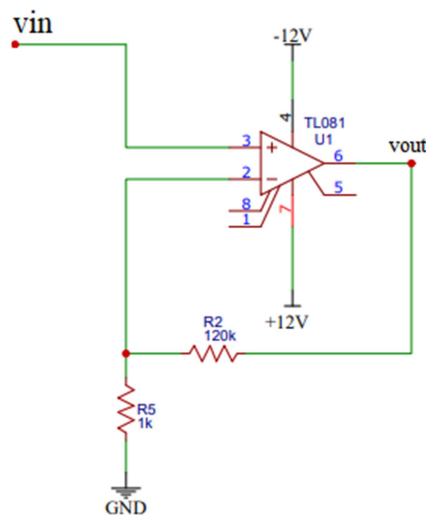
Μετά τις δοκιμές, καθορίστηκε ότι η καλύτερη συχνότητα αποκοπής είναι τα 884,2 Hz. Με άλλες συχνότητες αποκοπής, τα σήματα χαμηλού πλάτους δεν μπορούν «να ανιχνεύονται». Ενώ με τα 884,2 Hz δεν υπάρχει αυτό το πρόβλημα, αποκόπτονται μόνο οι ανεπιθύμητοι θόρυβοι. Η επιλογή σωστής συχνότητας αποκοπής είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Όταν θα πλησιάσει ένα μέταλλο κοντά στα πηνία, ένα πολύ ασθενές σήμα θα αρχίσει να δημιουργηθεί πάνω στο πηνίο RX. Όπως είπαμε τα 2 πηνία είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να υπάρχει μηδενική σύζευξη μεταξύ τους, όμως στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει. Στις πραγματικές συνθήκες θα υπάρχει μια πολύ μικρή σύζευξη μεταξύ πηνίων. Αυτό σημαίνει πως το πηνίο TX επάγει το πηνίο RX και μια πολύ μικρή εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού δηλαδή ένα πολύ ασθενές σήμα δημιουργείται πάνω στο πηνίο RX. Αυτό το ασθενές σήμα θα είναι θορυβώδες. Και όταν ένα μέταλλο θα πλησιάσει στα πηνία η μαγνητική ροή του πηνίου TX θα

παραμορφωθεί και οι μαγνητικές γραμμές θα αρχίσουν «να πέφτουν» πάνω στο πηνίο RX με αποτέλεσμα η σύζευξη μεταξύ πηνίων να αυξάνεται. Αυτό μπορεί επίσης να εκφραστεί ως, το πηνίο TX θα αρχίσει επάγει όλο και περισσότερο το πηνίο RX με αποτέλεσμα η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται λόγω επαγωγής να αυξάνεται. Όμως ακριβώς στο σημείο που η παρουσία μετάλλου αρχίζει να διαταράζει την λεγόμενη «ισορροπία επαγωγής», η διαφορά δυναμικού δηλαδή το σήμα που δημιουργείται πάνω στο πηνίο RX έχει την συχνότητα του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου που επάγει το πηνίο TX αλλά αυτή η συχνότητα καλύπτεται από τον θόρυβο. Επειδή αναφερόμαστε ακριβώς στην στιγμή που ξεκινάει «η ανίχνευση», αυτό σημαίνει πως το μέταλλο που ανιχνεύεται δημιουργεί μια πολύ μικρή παραμόρφωση στη ροή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του πηνίου TX, μικρή παραμόρφωση σημαίνει πως η σύζευξη μεταξύ των πηνίων θα αυξηθεί ελάχιστα και αυτό σημαίνει πως το πηνίο TX θα επάγει ελάχιστα περισσότερο το πηνίο RX και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαφορά δυναμικού δηλαδή το σήμα που δημιουργείται πάνω στο πηνίο RX να αυξηθεί ελάχιστα. Έτσι ώστε το πλάτος του σήματος να είναι τόσο μικρό που να ισούται στο πλάτος του θορύβου. Αυτό στο επίπεδο εφαρμογής μπορεί να εκφραστεί πως το μέταλλο όταν ανιχνεύεται από μια μακρινή απόσταση το σήμα της ανίχνευσης καλύπτεται από θόρυβο με αποτέλεσμα το βάθος ανίχνευσης να μειώνεται. Για αυτούς λόγους η αφαίρεση των ανεπιθύμητων συχνοτήτων είναι αναγκαίο και θα επηρεάσουν άμεσα το βάθος ανίχνευσης του ανιχνευτή μετάλλου. Για επίτευξη όλων αυτών η χρήση φίλτρου με σωστή συχνότητα αποκοπής είναι πάρα πολύ σημαντική.

Και πάλι η συχνότητα μετά το φίλτρο θα έχει πλάτος των μερικών δεκάδων mV. Για αυτό τον λόγο το σήμα πρέπει να ενισχυθεί.

3.1.6. Προενισχυτής

Μετά την παρουσία μετάλλου κοντά στα πηνία, η ισορροπία της επαγωγής διαταράσσεται και δημιουργείται διαφορά δυναμικού στο πηνίο RX. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι το σήμα που υποδεικνύει την παρουσία μετάλλου. Οι θόρυβοι του σήματος αφαιρούνται με ένα υψηλοπερατό φίλτρο. Αλλά και πάλι το πλάτος του σήματος είναι πολύ μικρό, είναι της τάξεως μερικών δεκάδων mV και αυτό το χαμηλό πλάτος δεν είναι ικανό να υποβληθεί σε επεξεργασία. Για αυτό τον λόγο πρέπει να ενισχυθεί.



Σχήμα 31: Μη-αναστρέφουσα συνδεσμολογία T.E.

Ένας τελεστικός ενισχυτής μη αναστρέφουσα συνδεσμολογίας χρησιμοποιήθηκε για ενίσχυση του σήματος. Στη μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία, η τάση εισόδου που οδηγεί τη μη αναστρέφουσα είσοδο δημιουργεί μια ενισχυμένη έξοδο της ίδιας πολικότητας. Μέρος της τάσης εξόδου, το οποίο καθορίζεται από το διαιρέτη τάσης που σχηματίζεται από τις αντιστάσεις R5 και R2, επιστρέφει πάλι στον

αναστρέφουσα ακροδέκτη εισόδου. Εξαιτίας του μεγάλου κέρδους τάσης ανοιχτού βρόχου (ιδανικά άπειρο), η διαφορά μεταξύ των δύο ακροδεκτών εισόδου του τελεστικού ενισχυτή θα είναι πολύ μικρή. Έτσι, η τάση στον αναστρέφοντα ακροδέκτη εισόδου, που είναι η εφαρμοσμένη τάση (το σήμα). Σημειώνουμε ότι, η τάση ανάδρασης που έχει αντίθετη πολικότητα από την τάση εισόδου, μειώνει την τάση εισόδου και προκαλεί αρνητική ανάδραση. [10]

Για την ανάλυση και της μη αναστρέφουσας συνδεσμολογίας, θεωρούμε τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό, με άπειρο κέρδος τάσης ανοιχτού βρόχου και άπειρη αντίσταση εισόδου. Αυτό, όπως αναφέρθηκε, συνεπάγεται της ισότητα της τάσης στους δύο ακροδέκτες εισόδου του τελεστικού ενισχυτή και μηδενικά εισερχόμενα ρεύματα στον τελεστικό ενισχυτή. Προκειμένου να ερμηνευτούν αυτές οι ιδιότητες του τελεστικού ενισχυτή στο κύκλωμα μη αναστρέφουσας συνδεσμολογίας, χρησιμοποιούμε την έννοια του φαινομενικού βραχυκύκλωματος. Θεωρούμε ότι στα άκρα εισόδου του τελεστικού ενισχυτή υπάρχει ένα φαινομενικό βραχυκύκλωμα, το οποίο αποτελεί βραχυκύκλωμα για την τάση αλλά ανοιχτό κύκλωμα για το ρεύμα. Το φαινομενικό βραχυκύκλωμα, επομένως, σημαίνει ότι η τάση εισόδου (v_{in}) στον μη αναστρέφοντα ενισχυτή εμφανίζεται στα άκρα R_5 . Άρα μπορούμε να εκφράσουμε:

$$v_{in} = R_5 \cdot i_5$$

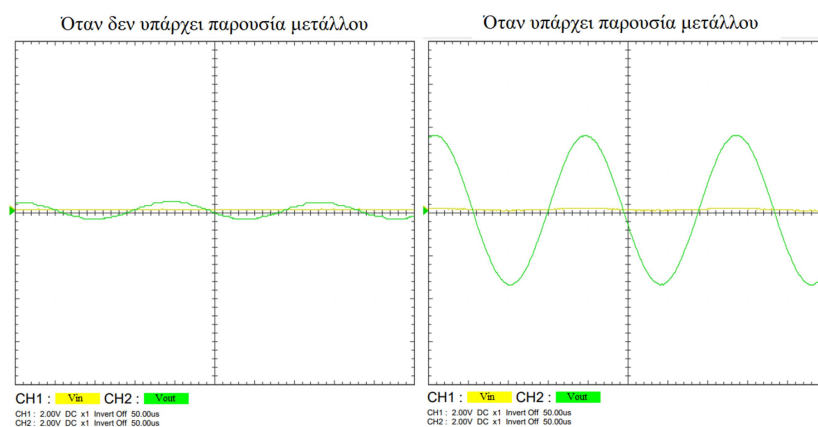
Επίσης η τάση εξόδου (v_{out}) δίνεται από την σχέση:

$$v_{out} = (R_5 + R_2) \cdot i_5$$

Και το κέρδος (A) τάσης της μη αναστρέφουσα συνδεσμολογίας υπολογίζεται από την σχέση:

$$A = \frac{R_5 + R_2}{R_5} \Rightarrow A = 1 + \frac{R_2}{R_5}$$

Επειδή θέλουμε να ανιχνεύσουμε μεταλλικά αντικείμενα όπως νομίσματα, δαχτυλίδια, λίρες, πειραματιστήκαμε με αυτά τα αντικείμενα και διαπιστώσαμε ότι μεταλλικά αντικείμενα όπως αυτά όταν δεν έχουν έντονη παρουσία θα προκαλέσουν ένα σήμα στο πηνίο RX με πλάτος περίπου 6mV-8mV και όταν είναι ισχυρή η παρουσία τους θα προκαλέσουν ένα σήμα περίπου με πλάτος 30mV-40mV. Για αυτό μια ενίσχυση με κέρδος 120 θα είναι επαρκής. Για να επιτευχθεί αυτό, το R_2 προσδιορίστηκε ως 120 kΩ και το R_5 ως 1 kΩ. Αφού επιτευχθεί αυτή η ενίσχυση, το σήμα μπορεί να υποβάλλεται σε επεξεργασία.

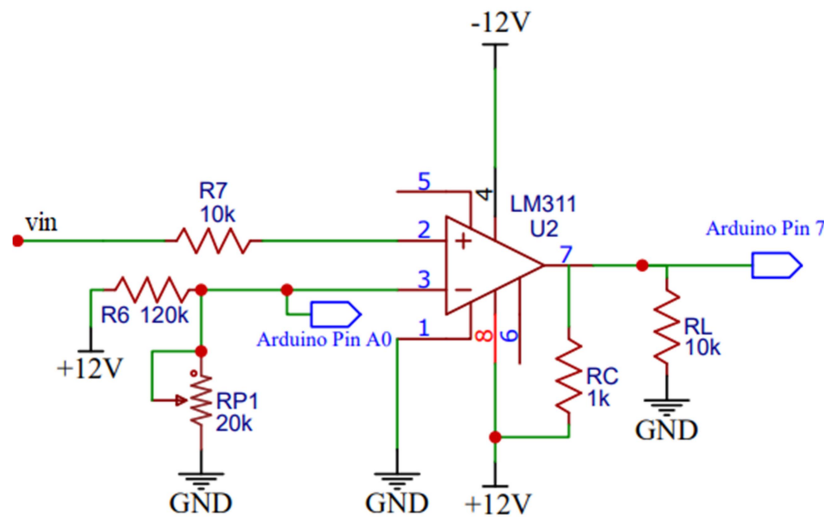


Σχήμα 32: Τάσεις εισόδου/εξόδου

3.1.7. Ανιχνευτής μηδενός

Το σήμα πρώτα πρέπει να διαμορφωθεί έτσι ώστε να μπορεί να «διαβαστεί» σωστά από τον μικροεπεξεργαστή. Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια, όταν υπάρχει ένα μεταλλικό αντικείμενο, εμφανίζεται μια επαγόμενη εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού στο πηνίο RX. Όσο πιο έντονη γίνεται η παρουσία αυτού του μεταλλικού αντικειμένου, για παράδειγμα όσο πιο κοντά βρίσκεται στο πηνίο RX, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού που δημιουργείται στο πηνίο RX. Αυτή η αύξηση στη εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού δείχνει πως η ισορροπία επαγωγής διαταράσσεται και ότι υπάρχει ένα μεταλλικό αντικείμενο που προκαλεί αυτή την διαταραχή. Και όσο ισχυρότερη γίνεται αυτή η διαταραχή σημαίνει πως τόσο αυξάνεται η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX. Αρά όσο αυξάνεται αυτή η διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX μπορούμε να ξέρουμε πως τόσο ισχυρότερη γίνεται το σήμα για την παρουσία του μεταλλικού αντικειμένου.

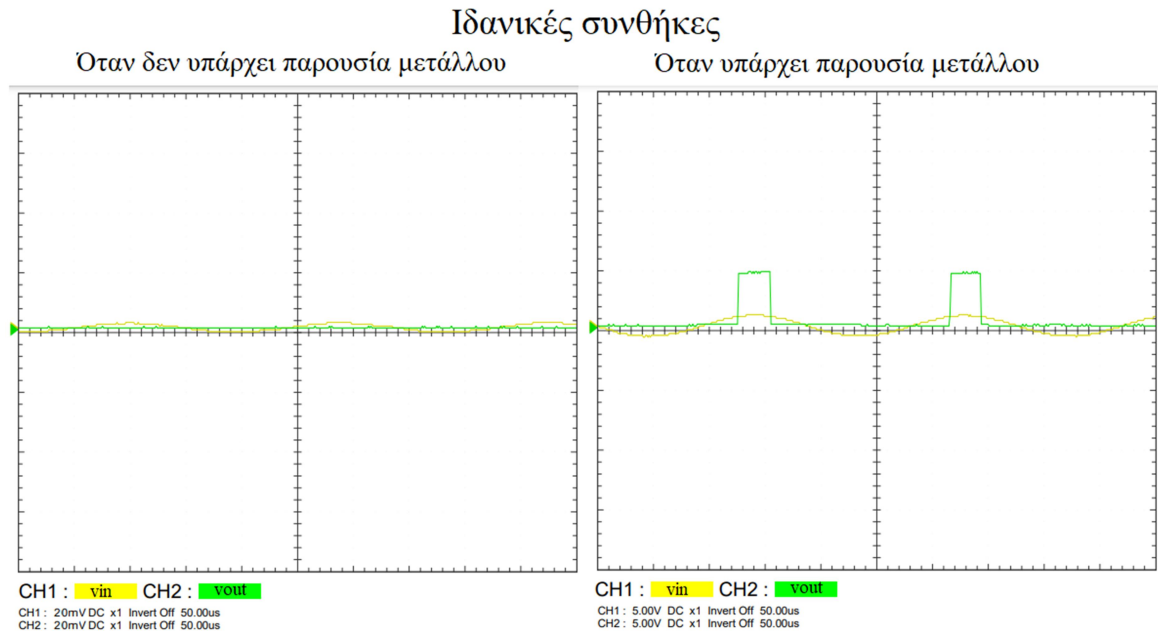
Κάπως αυτή η αύξηση του πλάτους πρέπει να είναι «κατανοητή» για να διαβαστεί από τον μικροελεγκτή. Έτσι ώστε, ο μικροελεγκτής να είναι σε ικανή θέση για να παράγει μια έξοδο που θα ειδοποιεί τον χρήστη για πόσο ισχυρή είναι παρουσία του μεταλλικού αντικειμένου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM). Όταν ημιτονικό σήμα θα έχει μικρό πλάτος, το PWM θα έχει μικρό κύκλο εργασίας και όταν το ημιτονικό σήμα θα έχει μεγάλο πλάτος, το PWM θα έχει μεγάλο κύκλο εργασίας. Αυτό το παραπάνω επιτυγχάνεται με τον ανιχνευτή μηδενός.



Σχήμα 33: Κύκλωμα συγκριτή μηδενός

Ο ανιχνευτής μηδενός είναι μία διάταξη συγκριτή που αλλάζει κατάσταση στην έξοδο του, όταν η τάση εισόδου γίνει θετικότερη ή αρνητικότερη του μηδενός. Στην δικιά μας διάταξη, για τις καταστάσεις θετικότερες του μηδενός, η έξοδος του συγκριτή γίνεται ΥΨΗΛΗ (HIGH) και αυτή η κατάσταση προκύπτει όταν βρίσκεται ένα μεταλλικό αντικείμενο κοντά στα πηνία και αρχίζει να προκαλεί μια διαφορά δυναμικού (σήμα) πάνω στο πηνίο RX. Αυτό σημαίνει πως όταν θα υπάρχει παρουσία ενός μεταλλικού αντικειμένου ένα ημιτονικό σήμα θα δημιουργηθεί πάνω στο πηνίο RX και για θετικούς ημιπεριόδους του ημιτονικού σήματος στην είσοδο του συγκριτή, θα έχουμε υψηλές καταστάσεις στην έξοδο του συγκριτή, δηλαδή παλμούς. Στην πραγματικότητα, το σήμα πρέπει να γίνει μεγαλύτερη της τάσης σφάλματος της διαφορικής βαθμίδας εισόδου του συγκριτή. Για την είσοδο, δηλαδή για τις θετικές ημιπεριόδους του ημιτονικού σήματος που έχουν πλάτος μεγαλύτερο από την τάση του σφάλματος, στην έξοδο του συγκριτή θα έχουμε υψηλές καταστάσεις (τετραγωνικούς παλμούς). Για παράδειγμα σε ασθενέστερα ημιτονικά σήματα, στην είσοδο του συγκριτή επειδή μόνο οι κορυφές τις θετικές ημιπεριόδου θα είναι μεγαλύτερες από την τάση σφάλματος του συγκριτή, στην έξοδο του συγκριτή θα

έχουμε παλμούς με μικρούς κύκλους εργασίας. Όσο η ισχύς του σήματος θα αυξηθεί, το πλάτος της θετικής ημιπεριόδου θα αυξηθεί και αυτό σημαίνει πως περισσότερες τιμές θα είναι μεγαλύτερες από τάση σφάλματος του συγκριτή με αποτέλεσμα ο κύκλος εργασίας στην έξοδο του συγκριτή να αυξάνεται (Σχήμα 34). Στην ιδανική κατάσταση όταν δεν υπάρχει καμία παρουσία μετάλλου δεν πρέπει να εμφανίζεται καμία διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX πρέπει, επειδή η τάση εισόδου του συγκριτή θα είναι μηδενική και η έξοδος του θα παραμείνει στην χαμηλή (LOW) κατάσταση (Σχήμα 34).



Σχήμα 34: Vin και Vout στις ιδανικές συνθήκες

Όπως αναφέρθηκε πάνω, όταν το σήμα εισόδου (V_{IN}) είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη της τάσης σφάλματος της διαφορικής βαθμίδας εισόδου του συγκριτή. Επειδή η διάταξη είναι ανοιχτού βρόχου, η τάση σφάλματος (V_{ERROR}) είναι μερικά mV γύρω από το μηδέν. Όταν η τάση εισόδου γίνει θετικότερη από:

$$V_{IN} > V_{ERROR} = \frac{V_{SAT}}{A_{VOL}}$$

Η έξοδος του συγκριτή πηγαίνει στην θετική τάση κόρου (V_{SAT}). Όταν η τάση γίνει αρνητικότερη:

$$-V_{IN} > V_{ERROR} = \frac{-V_{SAT}}{A_{VOL}}$$

Η έξοδος του συγκριτή πηγαίνει στην αρνητική τάση κόρου.

Στο κύκλωμα μη αναστρέφοντα συγκριτή χρησιμοποιήσαμε έναν συγκριτή LM311. Η αντίσταση R7 χρησιμοποιείται για προστασία της μη-αναστρέφουσας εισόδου του συγκριτή από μεγάλα ρεύματα. Η αντίσταση RC είναι η pull-up αντίσταση του τρανζίστορ εξόδου και συνδέεται στην θετική τροφοδοσία για να έχουμε θετική έξοδο και για μονοπολική έξοδο το ποδαράκι 1 συνδέεται στη γείωση. Η θετική τάση κόρου προκύπτει όταν το τρανζίστορ εξόδου είναι στην αποκοπή και ισούται με:

$$+V_{SAT} = V_{CC} \frac{R_L}{R_C + R_L}$$

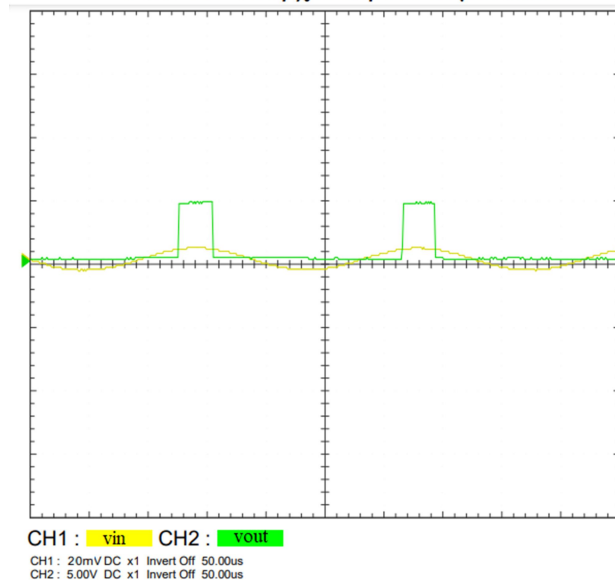
Οι αντιστάσεις R6 και RP1 είναι για να δημιουργηθεί για μια τάση αναφοράς. Αυτή η τάση αναφοράς αναπαριστάται ως τάση ασυμμετρίας εισόδου (input offset voltage) και εφαρμόζεται στην αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή προκειμένου για να έχουμε αλλαγή κατάστασης στην έξοδο και οφείλεται στην ασυμμετρία των τρανζίστορ του διαφορικού ενισχυτή εισόδου. Η τάση ασυμμετρίας εισόδου περιορίζει την διακριτή ικανότητα του συγκριτή και επομένως για μικρά σήματα εισόδου, η έξοδος του αλλάζει κατάσταση σε ανεπιθύμητη στάθμη ή δεν αλλάζει καθόλου. Με αλλά λόγια για να μην γίνει αυτή η ανεπιθύμητη αλλαγή εφαρμόζουμε μια τάση αναφοράς στην αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή αλλά όχι μόνο για αυτό το λόγο, περισσότερη ανάλυση θα γίνει αμέσως στο επόμενο κεφάλαιο γιατί είναι απαραίτητο μια τέτοια τάση αναφοράς. [9]

Περιληπτικά αυτό σημαίνει πως στη ιδανική περίπτωση όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου, η σύζευξη μεταξύ των πηνίων TX και RX είναι μηδενική και δεν υπάρχει μια διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX άρα δεν υπάρχει σήμα και η έξοδος του συγκριτή θα είναι σε χαμηλή κατάσταση (LOW). Όταν θα αρχίσει να εμφανιστεί η παρουσία μετάλλου ένα ασθενές σήμα θα δημιουργηθεί πάνω στο RX με αποτέλεσμα στην έξοδο του συγκριτή να δημιουργούνται παλμούς με χαμηλούς κύκλους εργασίας (Σχήμα 34). Θα υπάρχουν παλμούς με χαμηλούς κύκλους εργασίας διότι μόνο ένα μέρος του ημιτονικού σήματος θα έχει μεγαλύτερες τιμές από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός. Όσο θα δυναμωθεί η παρουσία μετάλλου, η σύζευξη μεταξύ των πηνίων TX και RX θα αυξηθεί και θα δημιουργηθεί μια μεγαλύτερη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο, δηλαδή θα υπάρχει ένα ισχυρότερο σήμα. Αυτό σημαίνει πως, το πλάτος του ημιτονικού σήματος θα αυξηθεί με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσό της ημιπεριόδου του ημιτονικού σήματος να είναι μεγαλύτερο από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός και έτσι να αυξάνεται ο κύκλος εργασίας των παλμών στην έξοδο του συγκριτή μηδενός. Με αυτή την μέθοδο δεν ανιχνεύεται μόνο η παρουσία μετάλλου αλλά και ισχύς του σήματος. Η ανίχνευση της ισχύς του σήματος μπορεί να ειδοποίηση τον χρήστη για πόσο κοντά βρίσκεται το μέταλλο ή μπορεί να δώσει μια ιδέα για πόσο μεγάλο είναι το μέταλλο. Αλλά όλα αυτά τα παραπάνω ισχύουν υπό ιδανικές συνθήκες.

3.1.7.1. Τάση ασυμμετρίας εισόδου

Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, όταν υπάρχει ιδανική μηδενική σύζευξη μεταξύ των πηνίων TX και RX (Με ιδανική μηδενική σύζευξη εννοούμε πως τα πηνία είναι τοποθετημένα έτσι ώστε το πηνίο TX να μην επάγει το πηνίο RX) και όταν δεν υπάρχει καμία παρουσία μετάλλου η ισορροπία επαγωγής δεν θα διαταραχτεί επομένως δεν θα δημιουργηθεί καμία διαφορά δυναμικού (σήμα) πάνω στο πηνίο RX. Καθώς δεν θα υπάρχει μια τάση (σήμα) μεγαλύτερη από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός, η έξοδος του συγκριτή θα είναι σε χαμηλή (LOW) κατάσταση (Σχήμα 34) και επειδή η κατάσταση θα είναι χαμηλή ο μικροελεγκτής «θα ξέρει» ότι δεν υπάρχει καμία παρουσία μετάλλου.

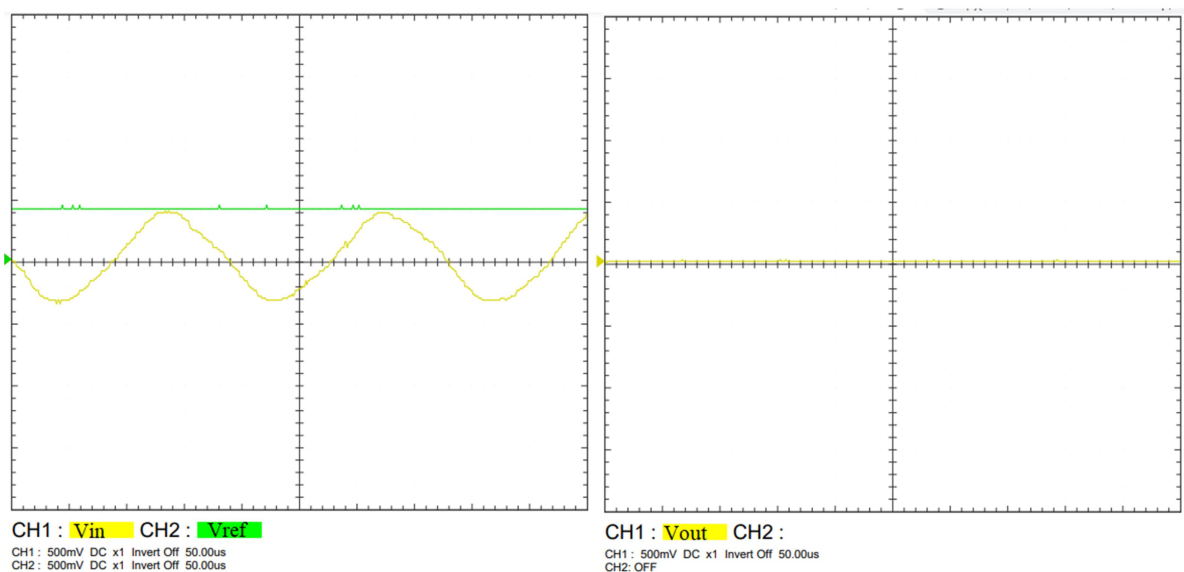
Πραγματική συνθήκη
Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου



Σχήμα 35: Η είσοδος και έξοδος στην πραγματική συνθήκη, όταν δεν εφαρμόζεται μια τάση αναφοράς

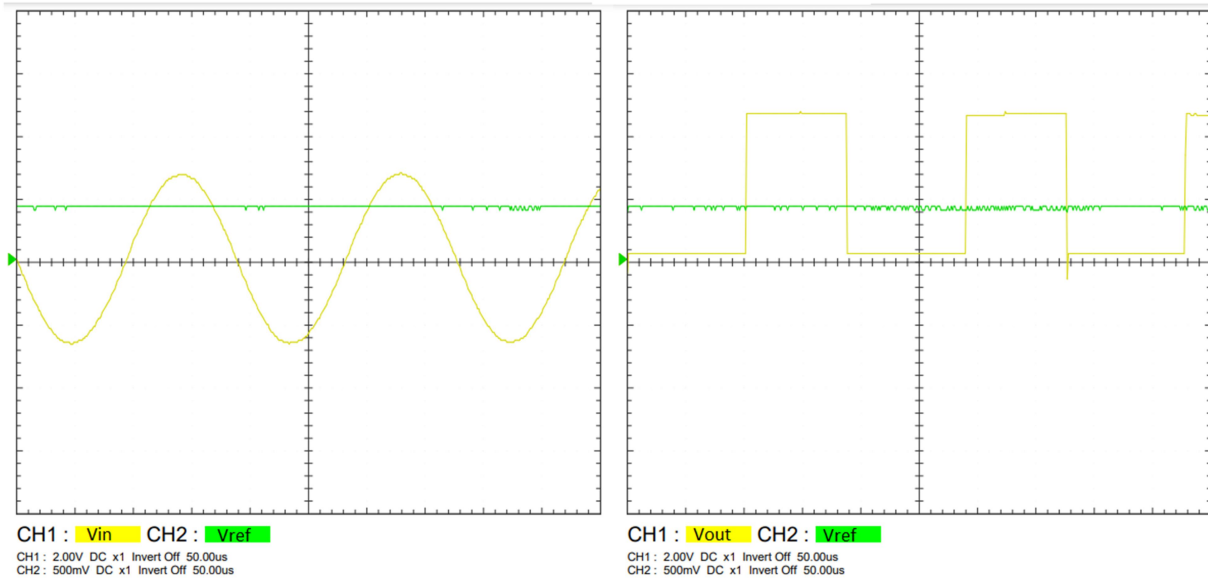
Όμως στις πραγματικές συνθήκες αυτό δεν ισχύει, πάντα υπάρχει μια μικρή διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX. Αυτό οφείλεται στους ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους και στη τοποθέτηση των πηνίων. Όσο προσεκτικά και να είναι τοποθετημένα τα πηνία, δεν θα υπάρξει απόλυτη μηδενική σύζευξη μεταξύ των δύο πηνίων. Όσο και καλά να είναι ισορροπημένα τα πηνία, το πρωτεύον πηνίο θα επάγει το δευτερεύον και θα προκαλέσει ένα πολύ ασθενές σήμα περίπου με πλάτος ~ 3 mV και αυτό σήμα μετά την ενίσχυση θα είναι περίπου ~ 400 mV. Αρκετά μεγάλο από την τάση σφάλματος του συγκριτή μηδενός ώστε να θέτει την έξοδο του συγκριτή σε υψηλή κατάσταση και να προκαλέσει ένα ψευδό σήμα (Σχήμα 35) για την παρουσία του μετάλλου, για αυτό το λόγο αυτό το σήμα μπορεί να εκληφθεί ως θόρυβος.

Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου



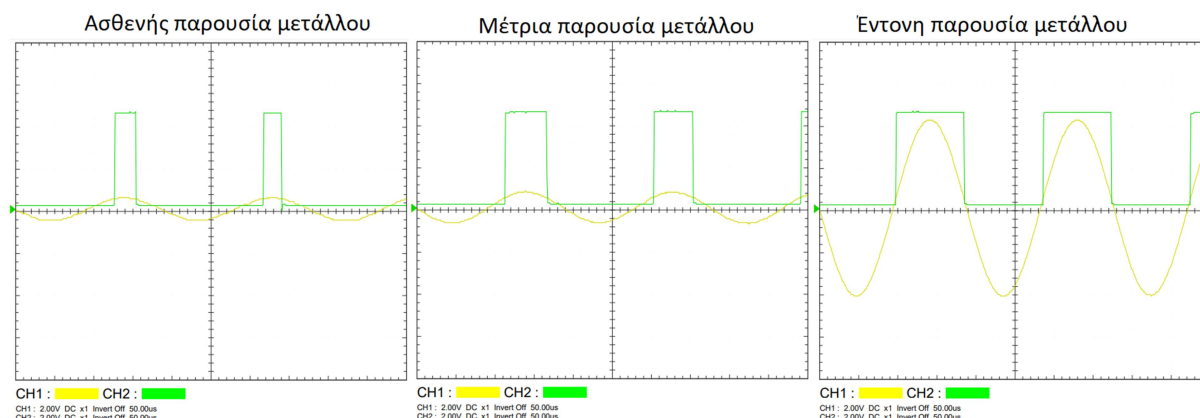
Σχήμα 36: Η είσοδος, η τάση αναφοράς και η έξοδος όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου

Όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου



Σχήμα 37: Η είσοδος, η τάση αναφοράς και η έξοδος όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου

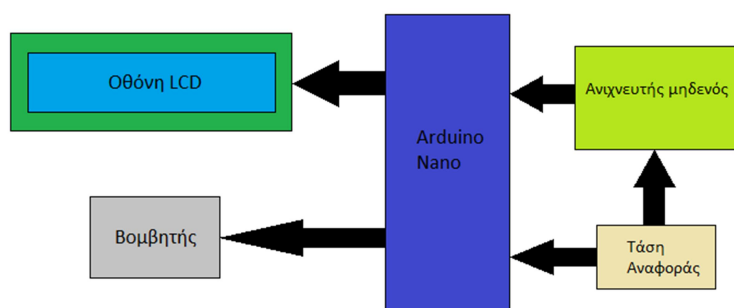
Επειδή αυτός ο θόρυβος είναι επαρκής για να ενεργοποιήσει τον ανιχνευτή μηδενός εφαρμόζουμε μια τάση ασυμμετρίας εισόδου (V_{IO}) στην αναστρέφουσα είσοδο του συγκριτή για να προσδιορίσουμε το «μηδέν» (Σχήμα 36). Η τάση αναφοράς ρυθμίζεται με το ποτενσιόμετρο, προσδιορίζουμε την τάση αναφοράς λίγο υψηλότερη από την τάση κορυφής αυτού του θορύβου (Σχήμα 36). Με την διάταξη που έχουμε αν η τάση εισόδου συγκριτή γίνεται μεγαλύτερη από την τάση αναφοράς, θα θέσει την κατάσταση του συγκριτή σε υψηλή και στην έξοδο του συγκριτή τετραγωνικοί παλμοί θα αρχίσουν να εμφανιστούν ανάλογα με την ισχύ του σήματος (Σχήμα 37). Όσο περισσότερο ποσό της θετικής ημιπεριόδου του ημιτονικού σήματος θα είναι μεγαλύτερη από την τάση ασυμμετρίας εισόδου τόσο περισσότερη θα είναι η χρονική διάρκεια των τετραγωνικών παλμών, με αλλά λόγια ο κύκλος εργασίας θα αυξηθεί (Σχήμα 38). Με απλά λόγια αυτή η τάση αναφοράς είναι η αναφορά «μηδενός» για τον συγκριτή. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο βρίσκεται κοντά στα πηνία, το πλάτος του σήματος πάνω στο πηνίο RX που υποθέταμε ως θόρυβος, θα αρχίσει να αυξάνεται και όταν το πλάτος του σήματος θα είναι μεγαλύτερο από αυτή την αναφορά «μηδενός» στην έξοδο του συγκριτή θα έχουμε ένα τετραγωνικό παλμό με χρονική διάρκεια ανάλογος με το πόσο τη θετικής ημιπεριόδου του ημιτονικού σήματος που είναι μεγαλύτερη από αυτήν την αναφορά «μηδενός» (Σχήμα 38). Αυτή η αναφορά μηδενός είναι πολύ σημαντική για δύο λόγους. Πρώτον, βοηθά στην ακύρωση των ανεπιθύμητων σημάτων θορύβου. Δεύτερον, βοηθά στη βαθμονόμηση του ανιχνευτή μετάλλων στα ορυκτοποιημένα εδάφη. Όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο της ορυκτοποίησης εδάφους, η ορυκτοποίηση «συμπιέζει» το μαγνητικό πεδίο και αυξάνει τη σύζευξη μεταξύ των πηνίων έτσι ώστε να προκαλεί αύξηση του πλάτους σήματος πάνω στο πηνίο RX. Σε ορυκτοποιημένα εδάφη αυτή η αύξηση μπορεί να είναι τόσο πολύ, έτσι ώστε το πλάτος του σήματος μπορεί να υπερβαίνει την τάση αναφοράς για το «μηδέν» και να προκαλέσει ένα ψευδό σήμα για την παρουσία μετάλλου. Με το ποτενσιόμετρο η αναφορά μηδενός μπορεί να επαναρυθμιστεί. Η επαναρύθμιση της αναφοράς μηδενός δεν θα επηρεάσει το βάθος ανίχνευσης.



Σχήμα 38: Η είσοδος και η χρονική διάρκεια υψηλής κατάστασης τετραγωνικού παλμού της εξόδου ανάλογα με το πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου (CH1 Είσοδος- CH2 Έξοδος)

Μετά τον συγκριτή μηδενός επειδή το σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή, με «<ευκολία>» μπορεί να διαβαστεί από έναν μικροελεγκτή και ο χρήστης να ιδιοποιηθεί για πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου.

3.1.8. Μικροελεγκτής



Σχήμα 39: Μπλοκ διάγραμμα μικροελεγκτή

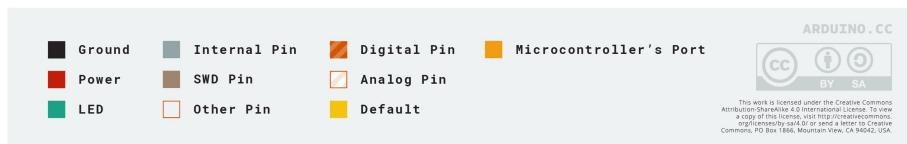
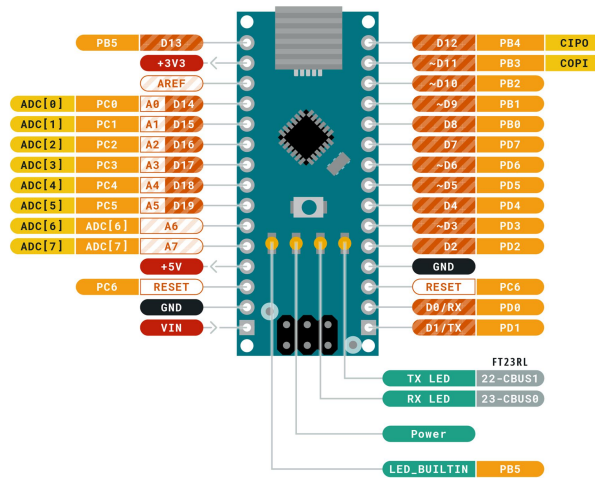
Η έξοδος του συγκριτή και η τάση αναφοράς «μηδενός» οδηγούνται στον μικροελεγκτή. Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, όταν ΔΕΝ υπάρχει παρουσία μετάλλου η κατάσταση στην έξοδο του συγκριτή είναι χαμηλή και όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου η κατάσταση γίνεται υψηλή. Συγκεκριμένα, τετραγωνικοί παλμοί αρχίζουν να δημιουργούνται. Όταν η παρουσία μετάλλου είναι «ασθενές» δηλαδή όταν το σήμα δεν είναι ισχυρό αυτή οι τετραγωνικοί παλμοί έχουν μικρό κύκλο εργασίας. Όσο «δυναμώνει» η παρουσία μετάλλου, η χρονική διάρκεια του κύκλου εργασίας αυξάνεται. Ο κύκλος εργασίας κυμαίνεται από 0% έως 50%. Ο μικροελεγκτής «διαβάζει» την διάρκεια των παλμών. Όταν ο κύκλος εργασίας είναι 0% σημαίνει ότι δεν υπάρχει μέταλλο. Όταν ο κύκλος εργασίας είναι μεταξύ των 1% έως 50% σημαίνει ότι υπάρχει παρουσία μετάλλου, όσο μικρή χρονική διάρκεια έχει ο κύκλος εργασίας τόσο ασθενές είναι η παρουσία μετάλλου και όσο αυξάνεται η χρονική διάρκεια τόσο ισχυρότερη γίνεται η παρουσία μετάλλου. Η παρουσία μετάλλου υποδεικνύεται γραφικά σε μια οθόνη LCD. Επίσης η αναφορά μηδενός εμφανίζεται στην οθόνη LCD. Υπάρχει μια μπάρα στην οθόνη LCD καθώς ο κύκλος εργασίας αυξάνεται, η μπάρα γεμίζει. Επίσης καθώς η μπάρα γεμίζει ο τόνος του βομβητή αλλάζει. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης ειδοποιείται για την παρουσία μετάλλου.

3.1.8.1. Arduino Nano

Για «διαβαστεί» το σήμα που διαμορφώνεται από τον συγκριτή μηδενός, χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino Nano. Το Arduino Nano είναι μια μικρή αναπτυξιακή πλακέτα που φοράει μικροεπεξεργαστή ATmega328. Έχει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους και 8 αναλογικές εισόδους/εξόδους. Επίσης έχει πολύ φιλικό προς το χρήστη λογισμικό προγραμματισμού που μπορεί να μεταγλωττίσει και να ανεβάσει απευθείας το δεκαεξαδικό αρχείο του κώδικα στον μικροελεγκτή μέσω USB Mini-B. Το πολύ χαμηλό κόστος και η δυνατότητα εύκολης προγραμματισμού έκανε το Arduino Nano την καλύτερη επιλογή για την εργασία μας.



ARDUINO
NANO



Σχήμα 40: Arduino Nano pin out [4]

3.1.8.2. Είσοδοι

Η I/O D7 προκαθορίστηκε ως η είσοδος. Η D7 είναι μια ψηφιακή είσοδος που μπορεί να προγραμματιστεί για να διαβάσει χαμηλές/υψηλές καταστάσεις και την χρονική διάρκεια ενός παλμού. Αυτή η είσοδος προγραμματιστική για να διαβάσει την διάρκεια της υψηλής κατάστασης του εισερχόμενου παλμού.

Η είσοδος A0 είναι μια αναλογική είσοδος που μπορεί να προγραμματιστεί για να διαβάσει αναλογικές τάσεις. Χρησιμοποιήθηκε με αυτόν τον σκοπό, για να διαβάσει την τιμή τάσης που δημιουργείται ανάμεσα στις αντιστάσεις R6 και RP1.

3.1.8.2.1. Μετρητής διάρκειας παλμού

Στην ψηφιακή είσοδο του Arduino Nano όταν θα υπάρχει παρουσία μετάλλου θα εμφανιστεί ένα σήμα με διαμόρφωση PWM. Ανάλογα με την διάρκεια κύκλου λειτουργίας του σήματος PWM, μπορεί να προσδιοριστεί η ισχύς σήματος για την παρουσία μετάλλου. Όσο πιο ισχυρή είναι παρουσία του μετάλλου, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του κύκλου εργασίας (Σχήμα 38). Επειδή το σήμα είναι ημιτονικό, όταν η θετική ημιπερίοδος του ημιτονικού σήματος θα φθάσει στο μέγιστο πλάτος, η μισή περίοδος του ημιτονικού σήματος θα είναι μεγαλύτερη από τάση αναφοράς του συγκριτή μηδενός με αποτέλεσμα στην έξοδο του συγκριτή να δημιουργείται ένα σήμα PWM με 50% κύκλο εργασίας. Άρα μπορούμε να πούμε στην ισχυρότερη παρουσία μετάλλου θα έχουμε ένα σήμα με 50% κύκλο εργασίας και στην ελάχιστη παρουσία θα έχουμε ένα σήμα με 1% κύκλο εργασίας. Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου θα έχουμε ένα σήμα με 0% κύκλο εργασίας δηλαδή 0V στην είσοδο του Arduino Nano. Άρα ο μικροελεγκτής για «να ξέρει» ότι υπάρχει παρουσία μετάλλου ή όχι, ο μετρητής διάρκειας παλμού πρέπει «να διαβάσει» την χρονική διάρκεια της υψηλής κατάστασης του σήματος δηλαδή τον κύκλο εργασίας. 50% του κύκλου εργασίας αντιστοιχεί στο T/2. Η περίοδος του σήματος μπορεί να υπολογιστεί από σχέση:

$$T = \frac{1}{f}$$

Για το ημιτονικό σήμα με συχνότητα 5,6 kHz που είναι η συχνότητα λειτουργίας του ανιχνευτή μετάλλων, η περίοδος υπολογίζεται ως 188,67μs. 50% της περιόδου αντιστοιχεί στα 94,3μs. Αυτός ο χρόνος, είναι η χρονική διάρκεια της υψηλής κατάστασης του παλμού στην ισχυρότερη παρουσία του μετάλλου. Και στην ελάχιστη παρουσία μετάλλου δηλαδή όταν το σήμα έχει κύκλο εργασίας 1% η χρονική διάρκεια της υψηλής κατάστασης του παλμού αντιστοιχεί στα 1,9μs. Άρα ο μικροελεγκτής ανάλογα πόσο ισχυρό είναι το σήμα για την παρουσία του μετάλλου θα διαβάσει υψηλούς παλμούς με χρονική διάρκεια που κυμαίνονται μεταξύ των 1,9μs-94,3μs. Ο μικροελεγκτής ανάλογα πόσο ισχυρό είναι το σήμα για την παρουσία μετάλλου θα κάνει μια γραφική απεικόνιση σε μια 16 x 2 LCD οθόνη.



Εικόνα 1: Γραφική απεικόνιση του σήματος στην οθόνη

Να υπενθυμίσουμε πως με «ισχυρή παρουσία μετάλλου» εννοούμε πόσο μεγάλη εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού (σήμα) προκαλείται πάνω στο πηνίο RX. Αυτή η διαφορά δυναμικού εξαρτάται από πόσο ισχυρή είναι η διαταραχή ισορροπίας επαγωγής μεταξύ των πηνίων. Αυτή η διαταραχή

δημιουργείται από το μαγνητικό πεδίο λόγω των δινορευμάτων του ανιχνευόμενου μετάλλου. Όταν το μαγνητικό πεδίο του πηνίου TX έρχεται σε «επαφή» με ένα μέταλλο, δινορεύματα προκαλούνται στο μέταλλο και αυτά τα δινορεύματα προκαλούν το δικό τους μαγνητικό πεδίο με αντίστροφη πολικότητα με το μαγνητικό πεδίο του πηνίου TX. Έτσι η ροή του μαγνητικού πεδίου του πηνίου TX «παραμορφώνεται» και η μαγνητική ροή του πεδίου TX αρχίζει να επάγει περισσότερο το πηνίο RX, η λεγόμενη ισορροπία επαγωγής διαταράσσεται και η εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού πάνω στο πηνίο RX αυξάνεται. Αυτή «η παραμόρφωση» του μαγνητικού πεδίου στο πηνίο TX εξαρτάται από την ένταση δινορευμάτων, όσο ισχυρότερη είναι ένταση δινορευμάτων τόσο ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο θα προκληθεί και τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παραμόρφωση στο μαγνητικό πεδίο του TX. Ανάλογα με το μέγεθος, υλικό κατασκευής του μετάλλου, συγκεκριμένα ανάλογα με την αγωγιμότητα του μετάλλου τα δινορεύματα θα έχουν διαφορετική ένταση, όσο περισσότερα αγωγή και μεγάλα είναι τα μεταλλικά αντικείμενα η ένταση των δινορευμάτων τους θα προκαλέσουν ένα μαγνητικό πεδίο που θα προκαλέσει μεγαλύτερη «παραμόρφωση» στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου TX με αποτέλεσμα το πηνίο RX να αρχίζει να επάγεται περισσότερο και να δημιουργείται μεγαλύτερη εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικού δηλαδή σήμα πάνω στο πηνίο RX. Με αυτόν τον τρόπο όσο αυξάνεται το πλάτος του σήματος μπορούμε να ξέρουμε πόσο «ισχυρή παρουσία» έχει το μέταλλο. Βέβαια η ισχύς αυτού του σήματος δεν εξαρτάται μόνο από αγωγιμότητα του «ανιχνευόμενου» μετάλλου αλλά από το μέγεθος, από πόσο απόσταση απέχει από τα πηνία, από σχήμα, από την κατεύθυνση που κοιτάει η επιφάνεια του κάτω από το έδαφος και άλλα κριτήρια. Περιληπτικά με «το ισχυρό σήμα για την παρουσία μετάλλου» εννοούμε πόσο ισχυρή διαταραχή δημιουργεί το μεταλλικό αντικείμενο στην ισορροπία επαγωγής ανάμεσα των πηνίων TX και RX. Όσο ισχυρότερη γίνεται αυτή η διαταραχή τόσο ισχυρότερη γίνεται το σήμα που δημιουργείται πάνω στο πηνίο RX και η ισχύς αυτού του σήματος διαμορφώνεται ως ένα σήμα PWM και διαβάζεται από τον μικροελεγκτή. Ο μικρό ελεγκτής διαβάζοντας τον κύκλο εργασίας αυτού του σήματος, σε μια οθόνη LCD μπορεί να απεικονίσει πόσο ισχυρό είναι το σήμα για την παρουσία του μετάλλου.

3.1.8.3. Μετρητής διαιρέτης τάσης

Όπως είπαμε και στο κεφάλαιο 3.1.7.1 λόγω μη ιδανικών συνθηκών το πηνίο TX θα επάγει το πηνίο RX και ένα σήμα θα δημιουργείται πάνω στο πηνίο RX. Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου αυτό το σήμα μπορεί να ενεργοποιήσει τον συγκριτή μηδενός και ανεπιθύμητα μπορεί να αλλάξει την κατάσταση εξόδου του συγκριτή μηδενός με αποτέλεσμα ο μικροελεγκτής να διαβάζει ένα ψευδό σήμα για την παρουσία μετάλλου. Για να μην έχουμε αυτό το ανεπιθύμητο σήμα πρέπει να έχουμε μια «αναφοράς μηδενός». Όταν θα υπάρχει παρουσία μετάλλου το πλάτος του σήματος που δημιουργείται λόγω των μη ιδανικών συνθηκών θα αυξάνεται, άρα όταν θα ξεκινήσει η αύξηση θα ξέρουμε πως υπάρχει παρουσία μετάλλου. Πρέπει να ορίσουμε μια αναφορά για να εντοπίσουμε αυτή την αύξηση. Για αυτό ορίζουμε μια τάση αναφοράς που είναι η αναφορά «μηδενός» για τον ανιχνευτή. Όταν το πλάτος σήματος γίνεται μεγαλύτερο από αυτή την τάση αναφοράς ξέρουμε πως υπάρχει η παρουσία μετάλλου. Για να διευκολυνθεί η ρύθμιση αυτής της τάσης αναφοράς, η τάση διαβάζεται από τον μικροελεγκτή και απεικονίζεται στην οθόνη LCD (Εικόνα 1).

Για να διαβαστεί αυτή η αναφορά ο διαιρέτης τάσης οδηγείται στην αναλογική είσοδο A0 του μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής έχει έναν ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικό σε ψηφιακό (ADC) που επιστρέφει έναν αριθμό μεταξύ 0 και 1023 που είναι ανάλογος με την ποσότητα τάσης που εφαρμόζεται στην είσοδο A0. Η έξοδος του διαιρέτη τάσης μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$V_{out} = V_{in} \frac{RP_1}{RP_1 + R_6}$$

Ο μετατροπέας ADC μετατρέπει την ένδειξη αναλογικής τάσης στην πλησιέστερη ίση τιμή και χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση αυτή η τιμή μπορεί να απεικονιστεί ως Volt:

$$V_{REF} = V_{out} \frac{V_{in}}{1023}$$

Επίσης με την ορκετοποίηση του εδάφους το μαγνητικό πεδίο του πηνίου TX «θα συμπιεστεί» για καλύτερη ευαισθησία θα χρειαστεί να ορίσουμε μια νέα αναφορά. Για να διευκολύνουμε αυτή την ρύθμιση η τάση αναφοράς απεικονίζεται στην οθόνη.

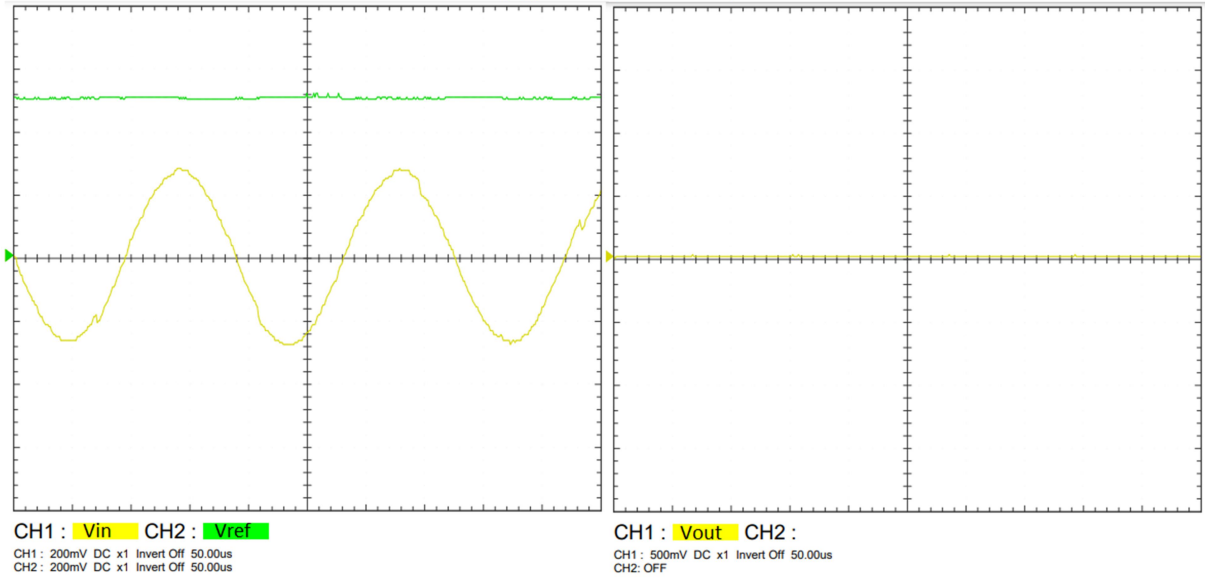
3.1.8.3.1. Ρύθμιση βέλτιστης ευαισθησίας

Όπως είπαμε και προηγουμένως, λόγω μη ιδανικών συνθηκών δημιουργείται ένα σήμα πάνω στο πηνίο RX και όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου το πλάτος αυτού του ημιτονικού σήματος αρχίζει να αυξάνεται, αυτή η αύξηση υποδεικνύει την παρουσία μετάλλου. Για να γίνει κατανοητή αυτή η αύξηση ορίζουμε ένα κατώφλι δηλαδή μια αναφορά. Όμως για να γίνει κατανοητή και η ασθενέστερη παρουσία μετάλλου αυτή η αναφορά πρέπει να ρυθμιστεί ακριβώς πάνω από την κορυφή πλάτους του ημιτονικού σήματος (Σχήμα 36). Αυτή η ρύθμιση πρέπει να γίνει όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου. Περιστρέφοντας το ποτενσιόμετρο η τάση εξόδου του διαιρέτη τάσης μπορεί να προσδιοριστεί. Όμως ο χρήστης κατά την χρήση της συσκευής δεν θα έχει την δυνατότητα να δει τις κυματομορφές όπως τις απεικονίζει ο παλμογράφος. Για διευκόλυνση την ρύθμιση, η τιμή της τάσης αναφοράς εμφανίζεται στην οθόνη LCD. Επίσης όταν ανιχνεύεται ένα μέταλλο ο βομβητής ειδοποιεί τον χρήστη ηχητικά.

Για να γίνει η βέλτιστη η ρύθμιση, η βαθμονόμηση πρέπει να γίνει όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου. Το ποτενσιόμετρο πρέπει να περιστραφεί έτσι ώστε η τάση αναφοράς να αρχίζει να πέφτει. Επειδή μετά από ένα σημείο η τάση αναφοράς θα είναι «κάτω» από το πλάτος κορυφής του ημιτονικού σήματος, στην έξοδο συγκριτή θα αρχίσει να εμφανίζει ένα σήμα για την παρουσία μετάλλου με αποτέλεσμα ο βομβητής να αρχίζει να χτυπάει. Σε αυτό το σημείο σταματάμε να περιστρέφουμε τον ποτενσιόμετρο και αρχίζουμε να περιστρέφουμε σιγά σιγά προς την αντίθετη μεριά έτσι ώστε η τάση αναφοράς να αυξάνεται και ακριβώς το σημείο που ο βομβητής σταματάει να χτυπάει σταματάμε να περιστρέφουμε. Αυτό το σημείο θα είναι το σημείο που η τάση αναφοράς είναι ρυθμισμένη ακριβώς πάνω από το πλάτος της κορυφής. Αν δεν είναι ρυθμισμένη σωστά η τάση αναφοράς δεν θα έχουμε ευαισθησία (Σχήματα 41-42-43). Για παράδειγμα αν η τάση αναφοράς είναι ρυθμισμένα υψηλότερα η μικρές αυξήσεις στο πλάτος του σήματος δεν θα αντιληφθούν (Σχήμα 42). Ειδικά όταν ένα μέταλλο είναι βαθιά η αύξηση στο πλάτος θα είναι ελάχιστη, για αυτό το λόγω η τάση αναφοράς πρέπει να ρυθμίζεται ακριβώς στο κατάλληλο σημείο έτσι ώστε η παραμικρή αύξηση να μπορεί αντιληφθεί. Η σωστή βαθμονόμηση θα επηρεάσει το βάθος αντίχτυσης.

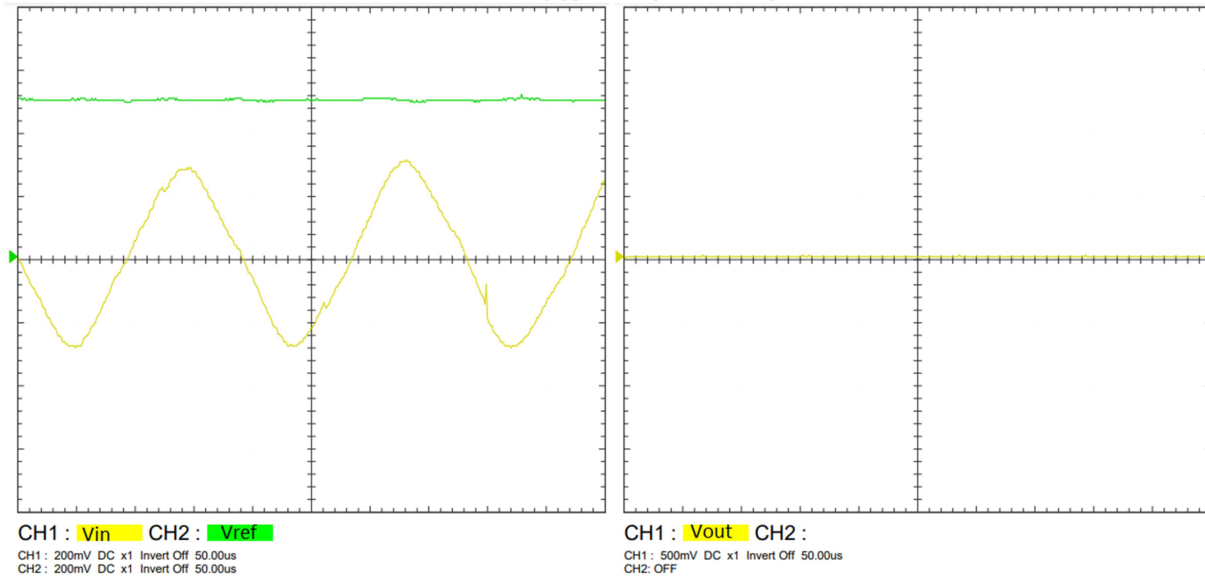
Επίσης τα ορκετά εδάφη μπορούν να προκαλέσουν μια αύξηση στο σήμα. Η μικρή αύξηση θα προκαλέσει ένα ψευδό σήμα για την παρουσία μετάλλου (Σχήμα 43). Με το ποτενσιόμετρο η αναφορά μπορεί να επαναρυθμιστεί και ακυρωθεί αυτό το ανεπιθύμητο σήμα.

Υψηλή ρύθμιση
Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου



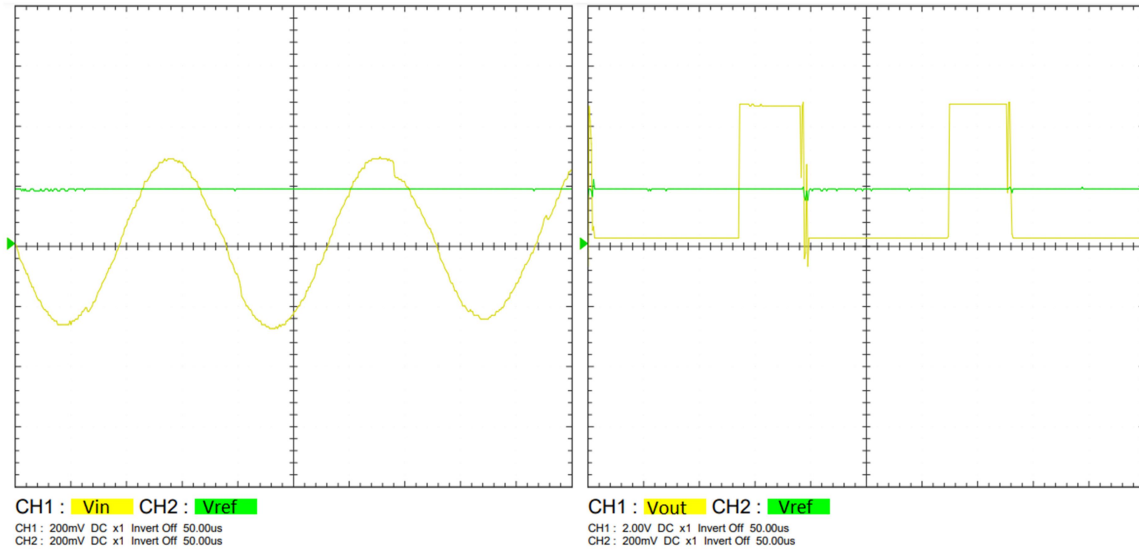
Σχήμα 41: Υψηλή ρύθμιση, όταν ΔΕΝ υπάρχει παρουσία μετάλλου

Υψηλή ρύθμιση
Όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου



Σχήμα 42: Υψηλή ρύθμιση, όταν υπάρχει παρουσία μετάλλου

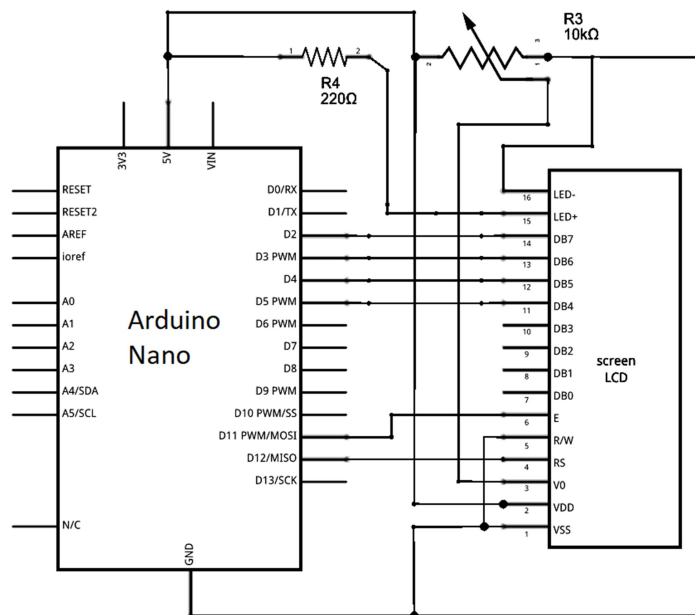
Χαμηλή ρύθμιση Όταν δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου



Σχήμα 43: Χαμηλή ρύθμιση, όταν ΔΕΝ υπάρχει παρουσία μετάλλου

3.1.8.4. Απεικόνιση σε οθόνη LCD

Για απεικόνιση χρησιμοποιήσαμε μια οθόνη LCD. Η βιβλιοθήκη «LiquidCrystal» του Arduino επιτρέπει τον έλεγχο οθονών LCD που είναι συμβατές με το πρόγραμμα οδήγησης Hitachi HD44780. Αυτές οι οθόνες μπορούν να αναγνωριστούν από τη διεπαφή 16 ακίδων. Οι συμβατές Hitachi LCD οθόνες μπορούν να ελεγχθούν με δύο λειτουργίες: 4-bit ή 8-bit. Η λειτουργία 4 bit απαιτεί επτά ακίδες I/O από το Arduino, ενώ η λειτουργία 8 bit απαιτεί 11 ακίδες. Στη λειτουργία 8 bit, 8 bit ενός byte αποστέλλονται ταυτόχρονα στα pin D0 και στο D7. Στη λειτουργία 4 bit, 8 bit ενός byte αποστέλλονται δύο φορές, κάθε φορά 4 bit στα pin D4 και D7. Η συνδεσμολογία έγινε σύμφωνα με τις δηλωμένες ακίδες της βιβλιοθήκης «LiquidCrystal».



Σχήμα 44: Η συνδεσμολογία LCD οθόνης [4]

Στην οθόνη υπάρχουν μικρές ορθογώνιες περιοχές που αποτελούνται από πλέγμα 5×8 εικονοστοιχείων. Κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να ανάψει ξεχωριστά και μπορεί να δημιουργήσει χαρακτήρες σε κάθε πλέγμα. Υπάρχουν 16 στήλες και 2 γραμμές πλέγματος. Η απεικόνιση για την παρουσία μετάλλου θα γίνει μέσω αυτής της οθόνης. Στη πάνω γραμμή θα εμφανιστεί η ισχύς του σήματος και στη κάτω γραμμή η τάση αναφοράς. Σε κάθε γραμμή υπάρχουν 16 πλέγματα, σε κάθε πλέγμα μπορεί να εμφανιστεί μόνο ένας χαρακτήρας. Για αυτό περιορισμένα μηνύματα μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη. Στην πρώτη γραμμή θα εμφανιστούν «**SIGNAL:**» και «**οι μπάρες**» που υποδεικνύουν την ισχύ του σήματος. Σε μια «μπάρα» όλα τα εικονοστοιχεία του πλέγματος ανάβουν. Μετά το μήνυμα «**SIGNAL:**» που πιάνει 7 πλέγματα θα μείνουν άλλα 9 πλέγματα για να απεικονιστούν «οι μπάρες». Όσο ισχυρό είναι το σήμα για την παρουσία μετάλλου τόσες περισσότερες μπάρες θα ανάψουν στην οθόνη. Όπως είπαμε στα προηγούμενα κεφάλαια το σήμα για πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου καθορίζεται από την χρονική διάρκεια της υψηλής κατάστασης του PWM σήματος. Συγκεκριμένα όταν υπάρχει ισχυρή παρουσία, η χρονική διάρκεια υψηλής κατάστασης του παλμού είναι 94,3μs και όταν υπάρχει ασθενή παρουσία η χρονική διάρκεια υψηλής κατάστασης του παλμού είναι περίπου ~2μs. Με αυτή την λογική:

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 2μs-20μs θα ανάψει μια μπάρα (τα 2μs είναι η ελάχιστη διάρκεια που μπορεί να διαβάσει το Arduino Nano).

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 21μs-40μs θα ανάψουν 2 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 41μs-50μs θα ανάψουν 3 μπάρες. (Εικόνα 3)

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 51μs-60μs θα ανάψουν 4 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 61μs-70μs θα ανάψουν 5 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 71μs-80μs θα ανάψουν 6 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 71μs-80μs θα ανάψουν 7 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 81μs-90μs θα ανάψουν 8 μπάρες.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 91μs-100μs θα ανάψουν 9 μπάρες.

Και όταν δεν υπάρχει σήμα αντί για μπάρες θα εμφανιστεί το μήνυμα «**NO SIGNAL**» (Εικόνα 2). Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης παρακολουθώντας τις μπάρες μπορεί να ξέρει πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου.



Εικόνα 2: NO METAL



Εικόνα 3: Γραφική απεικόνιση στην οθόνη του σήματος για μέτρια παρουσία του σήματος

Στη 2^η γραμμή θα εμφανιστεί το μήνυμα για την τάση αναφοράς με την μορφή «TUNE: XXX.XmV». Έτσι ώστε ο χρήστης με την ευκολία να μπορέσει να ρύθμιση την τάση αναφοράς.

Κατά την εκκίνηση της συσκευής για 2s δευτερόλεπτα στην οθόνη θα εμφανιστεί το μήνυμα «METAL DETECTOR».



Εικόνα 4: Αρχικό μήνυμα

Η οθόνη απεικονίζει γραφικά την ισχύ του σήματος για την παρουσία μετάλλου είναι ένα από τα απαραίτητα εξαρτήματα της συσκευής.

3.1.8.5. Βομβητής και τόνοι

Ο χρήστης δεν ειδοποιείται μόνο οπτικά αλλά και ειδοποιείται ηχητικά. Ανάλογα με την ισχύ του σήματος για την παρουσία μετάλλου ένας τόνος παράγεται από τον βομβητή. Η αλλαγή τόνου γίνεται με την βοήθεια μια ειδικής συνάρτησης «Tone()» που παρέχει η γλώσσα προγραμματισμού Arduino. Η συνάρτηση δημιουργεί ένα τετράγωνικό παλμό της καθορισμένης συχνότητας (και 50% κύκλου εργασίας) στη δηλωμένη ακίδα. Για ασθενή σήματα για την παρουσία μετάλλου θα παράγει χαμηλούς τόνους και για ισχυρότερα σήματα θα παράγει υψηλούς τόνους. Συγκεκριμένα:

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 2μs-20μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 545 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 21μs-40μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 545 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 41μs-50μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 590 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 51μs-60μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 635 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 61μs-70μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 680 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 71μs-80μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 725 Hz.

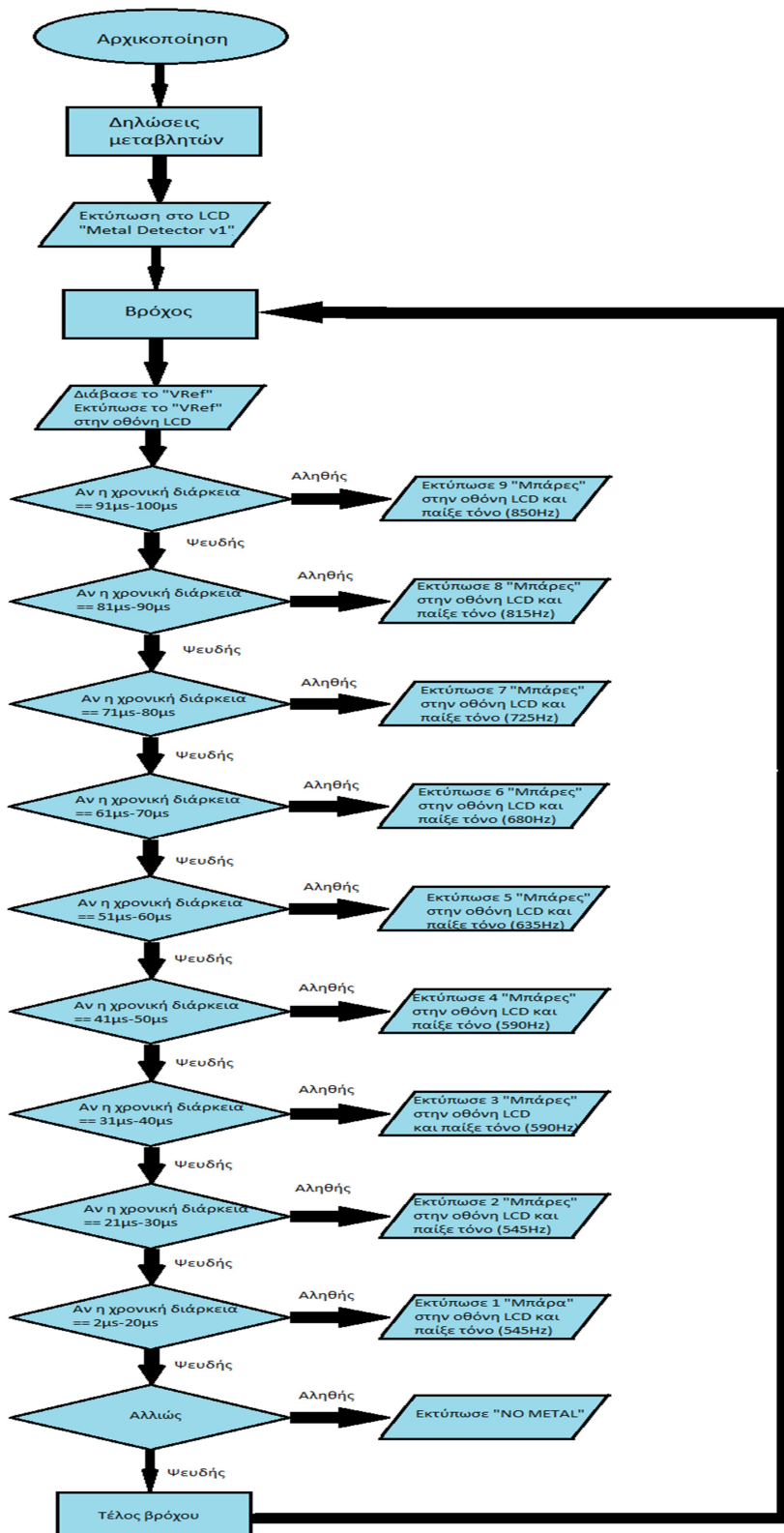
Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 81μs-90μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 815 Hz.

Για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 91μs-100μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 850 Hz.

Ο βομβητής ειδοποιεί τον χρήστη με έναν ηχητικό σήμα για την παρουσία του μετάλλου αλλά όχι μόνο αυτό. Όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.1.8.3.1 είναι ένα απαραίτητο εξάρτημα για την βαθμονόμηση της συσκευής.

3.1.8.6. Διάγραμμα ροής του κώδικα

Το διάγραμμα ροής του κώδικα είναι όπως εξής:



Σχήμα 45: Διάγραμμα ροής του κώδικα

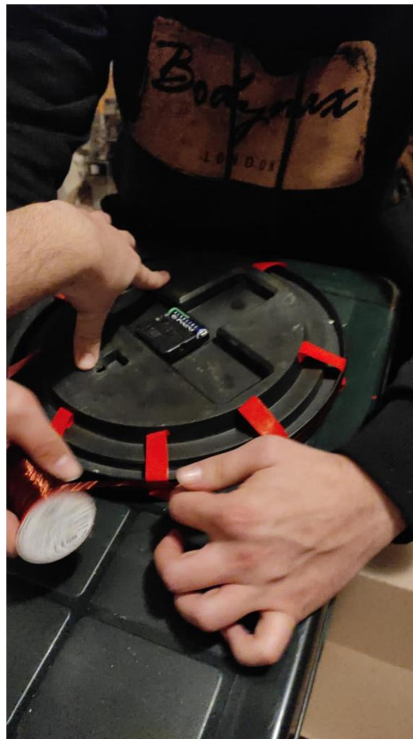
Μετά την εκκίνηση δηλώνουμε τις μεταβλητές, τις εισόδους / εξόδους και για αρχή εκτυπώνουμε το αρχικό μήνυμα στην οθόνη. Στο βρόχο πρώτα διαβάζουμε την τάση αναφοράς και την εκτυπώνουμε στην οθόνη. Στη συνέχεια ξεκινούν οι έλεγχοι συνθηκών σήματος. Υπάρχουν 10 συνθήκες για το πόσο ισχυρή είναι η παρουσία μετάλλου ή εάν υπάρχει σήμα για την παρουσία μετάλλου. Ο έλεγχος συνθηκών ξεκινά με το ισχυρότερο σήμα για την παρουσία μετάλλου εάν είναι αληθές εκτυπώνει τον αντίστοιχο αριθμό μπάρων στην οθόνη LCD και παράγει έναν τόνο με αντίστοιχη συχνότητα, αν είναι ψευδής μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση. Στην επόμενη συνθήκη ελέγχονται οι ίδιες συνθήκες αλλά για πιο ασθενές σήμα από το προηγούμενο, αν είναι αληθές εκτυπώνει τον αντίστοιχο αριθμό μπάρων στην οθόνη LCD και παράγει έναν τόνο με αντίστοιχη συχνότητα, αν είναι ψευδής πηγαίνει στο η επόμενη συνθήκη. Αυτοί οι έλεγχοι συνθηκών πραγματοποιούνται συγκρίνοντας τη διάρκεια της κατάστασης υψηλού παλμού. Ξεκινά ελέγχοντας την υψηλή διάρκεια παλμού για το ισχυρότερο σήμα και συνεχίζει μέχρι το πιο ασθενές. Στην τελική συνθήκη, εάν δεν υπάρχει παλμός, εκτυπώνει το αντίστοιχο μήνυμα που ειδοποιεί τον χρήστη ότι δεν υπάρχει παρουσία μετάλλου. Από αυτό το σημείο και μετά επιστρέφει στην αρχή του βρόχου.

4. Η κατασκευή

Εφόσον ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός και υπολογισμός για τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και για τα πηνία. Το επόμενο βήμα είναι η υλοποίηση της κατασκευής. Η κατασκευή αποτελείται από 3 βασικά μέρη, αυτά τα μέρη είναι τα πηνία, κουτί κυκλωμάτων και το κορμί. Για να μην επηρεαστεί το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται στα πηνία, θα πρέπει να υπάρχει ελάχιστο μεταλλικό υλικό στην κατασκευή. Η κατασκευή θα πρέπει να είναι εργονομική ώστε τα πηνία να είναι κοντά στο έδαφος όταν ο χρήστης στέκεται όρθιος.

4.1. Κατασκευή, τοποθέτηση και στερεοποίηση των πηνίων

Τα πηνία είναι τα πιο σημαντικά κομμάτια της κατασκευής. Επηρεάζουν άμεσα την ανίχνευση μετάλλων. Για αυτό τον λόγο πρέπει να υπολογιστούν και να τοποθετηθούν πολύ σωστά. Για τον ανιχνευτή μετάλλων η διάταξη διπλού-00 χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή. Αυτή η διάταξη χρησιμοποιήθηκε για την ευκολία κατασκευής. Διότι απαιτεί 2 κυκλικά πηνία, ο υπολογισμός και τύλιγμα κυκλικών πηνίων είναι πιο εύκολο σε σύγκριση με τα άλλα τύπου πηνίων και η επίτευξη της ισορροπίας επαγωγής είναι ευκολότερη σε σύγκριση με τις διατάξεις άλλων πηνίων.



Εικόνα 5: Τύλιγμα πηνίων. Για TX χρησιμοποιήθηκε ένα σύρμα 0,8mm και για αυτεπαγωγή των 2,71mH χρειάστηκαν 80 περιελίξεις. Για RX χρησιμοποιήθηκε ένα σύρμα 0,2mm και για αυτεπαγωγή των 7,34mH χρειάστηκαν 115 περιελίξεις

Στη διάταξη διπλού-00, 2 πηνία που έχουν την ίδια διάμετρο αλλά διαφορετική αυτεπαγωγή τοποθετούνται με μερικώς αλληλεπικαλυπτόμενο τρόπο έτσι ώστε το πηνίο TX να μην επάγει το πηνίο RX δηλαδή να έχουν μηδενική σύζευξη μεταξύ τους. Βέβαια πρακτικά η επίτευξη μηδενικής σύζευξης είναι αδύνατη αλλά το σημείο που έχουν την ελάχιστη σύζευξη μεταξύ τους θεωρούμε πως είναι το σημείο μηδενικής σύζευξης και όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.1.7.1 με ένα ποτενσιόμετρο προσδιορίζουμε το «μηδέν». Όταν θα υπάρχει παρουσία μετάλλου κοντά στα πηνία αυτή η ελάχιστη σύζευξη μεταξύ πηνίων θα διαταράσσεται και ένα σήμα που υποδεικνύει την παρουσία μετάλλου θα δημιουργηθεί πάνω στο πηνίο RX. Να υπενθυμίσουμε πως αυτή η μέθοδος ονομάζεται ισορροπία επαγωγής διότι τα πηνία είναι επαγωγικά ισορροπημένα έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη σύζευξη μεταξύ

τους και με την παρουσία μετάλλου αυτή η ελάχιστη σύζευξη μεταξύ πηνίων δηλαδή η επαγωγική ισορροπίας να διαταράσσεται .



Εικόνα 6: Τα πηνία μετά από την ολοκλήρωση τυλίγματος

Για να βρεθεί αυτό το σημείο «ισορροπίας», τοποθετούμε το δευτερεύον πηνίο (RX) απευθείας πάνω από το πρωτεύον (TX), έτσι ώστε να ευθυγραμμίζονται ομοαξονικά. Με αυτόν τον τρόπο το μαγνητικό πεδίο από το πρωτεύον πηνίο (TX) συζευγνύεται ομοιόμορφα με το δευτερεύον πηνίο (RX) και μια επαγωγική τάση αναπτύσσεται στο πηνίο RX. Εάν σύρουμε το δευτερεύον πηνίο (RX) προς τα πλάγια έτσι ώστε να επικαλύπτονται μόνο μερικώς, θα υπάρξει μια θέση όπου το πηνίο TX θα επάγει το πηνίο RX ελάχιστα (θεωρητικά καθόλου) δηλαδή σε αυτήν την θέση θα αναπτύσσεται μια πολύ μικρή επαγωγική τάση πάνω στο πηνίο RX. Όταν θα υπάρχει παρουσία μετάλλου ένα πολύ ασθενές σήμα θα δημιουργηθεί πάνω στο πηνίο RX. Για να είναι αντιληφθεί αυτό το ασθενές σήμα, πρέπει να υπάρχει ελάχιστη επαγωγική τάση πάνω στο πηνίο RX αλλιώς όταν δεν υπάρχει ελάχιστη σύζευξη αυτό το ασθενές σήμα καλύπτεται από την επαγωγική τάση.

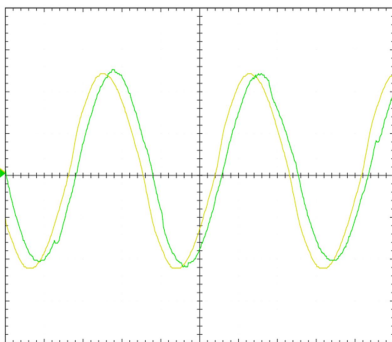
Μέγιστη σύζευξη
ομοαξονικά επικαλυπτόμενη τοποθέτηση



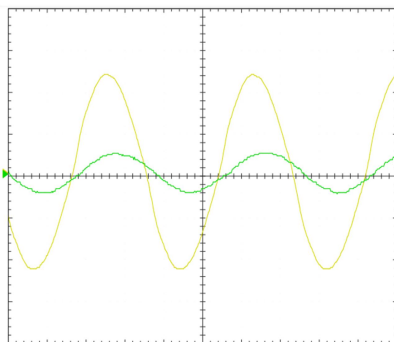
Μέτρια σύζευξη
Μερική επικαλυπτόμενη τοποθέτηση



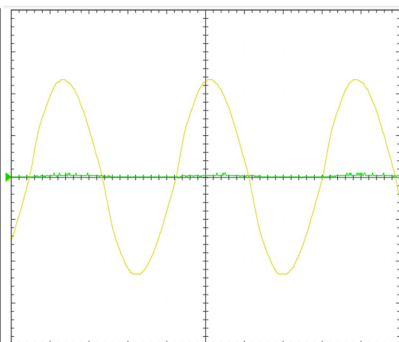
Μηδενική σύζευξη
Μερική επικαλυπτόμενη τοποθέτηση



CH1 : TX Coil CH2 : RX Coil
CH1 : 2.00V DC x1 Invert Off 50.00us
CH2 : 20mV DC x1 Invert Off 50.00us



CH1 : TX Coil CH2 : RX Coil
CH1 : 2.00V DC x1 Invert Off 50.00us
CH2 : 20mV DC x1 Invert Off 50.00us

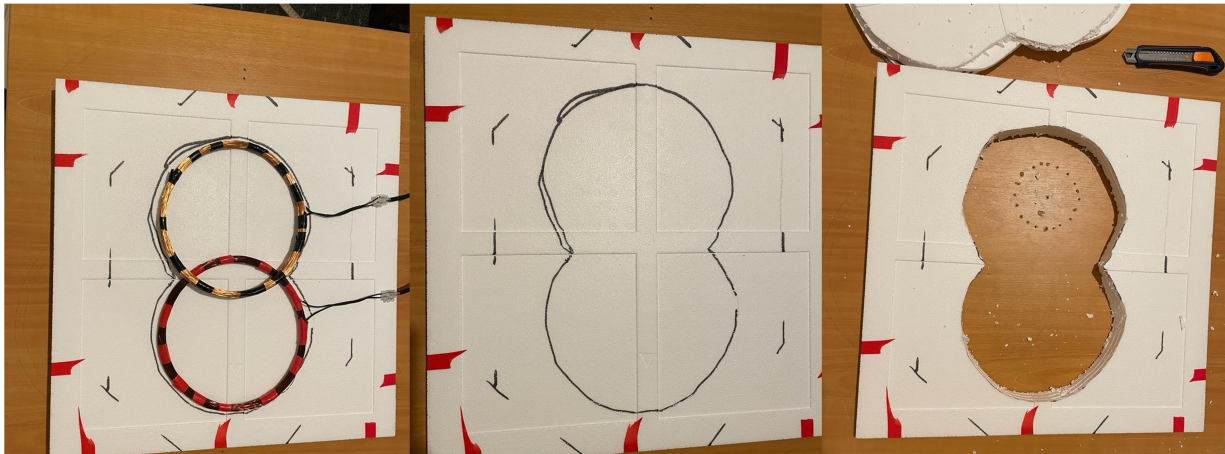


CH1 : TX Coil CH2 : RX Coil
CH1 : 2.00V DC x1 Invert Off 50.00us
CH2 : 20mV DC x1 Invert Off 50.00us

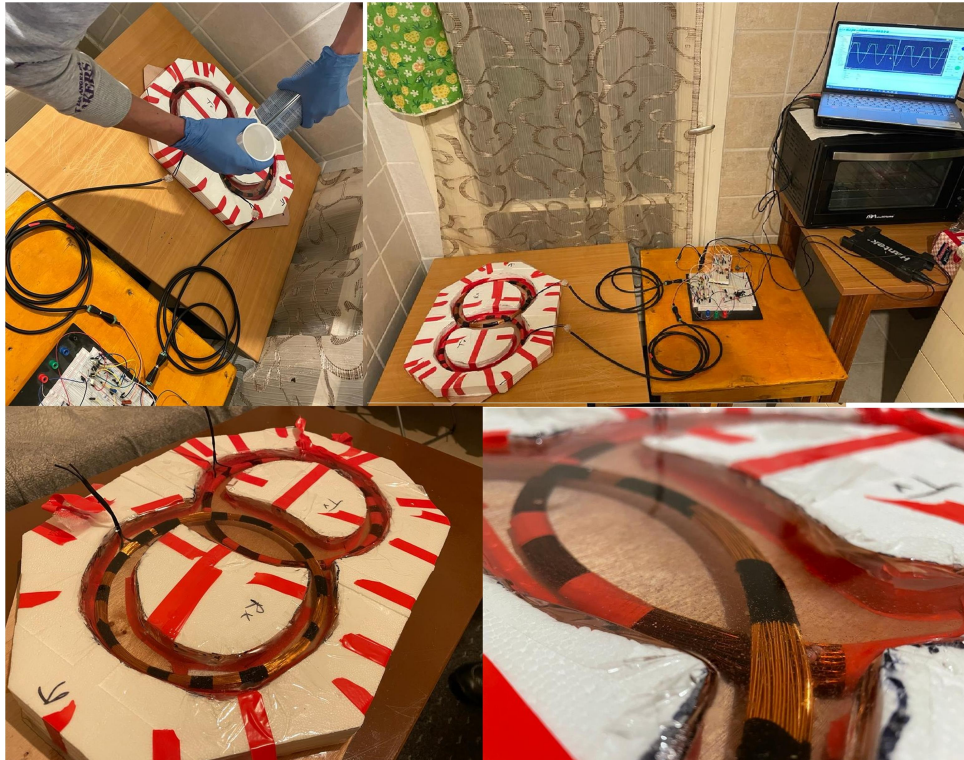
Σχήμα 46: Τοποθέτηση των πηνίων και απεικόνιση επαγωγικής σύζευξης στον παλμογράφο

Αυτό το παραπάνω επιτεύχθηκε συνδέοντας ένα παλμογράφο στο πηνίο RX και τοποθετώντας τα πηνία με ακριβώς αλληλεπικαλυπτόμενο τρόπο (Σχήμα 46). Με τον παλμογράφο παρατηρήθηκε η εναλλασσόμενη τάση που αναπτύσσεται λόγω επαγωγής. Το πηνίο RX άρχισε να μετακινηθεί σιγά σιγά έτσι ώστε τα πηνία να αρχίζουν να αλληλεπικαλύπτονται μερικώς. Όσο μετακινήθηκε το πηνίο RX παρατηρήθηκε πως η επαγωγική τάση μειώνεται. Σε κάποιο σημείο η επαγωγική τάση ήταν σχεδόν μηδενική. Αυτό είναι το σημείο που θεωρούμε ως σημείο μηδενικής σύζευξης. Αλλά αυτό το σημείο είναι πολύ ευαίσθητο και με το παραμικρό κούνημα το σημείο μηδενικής σύζευξης μπορεί να χαλάσει, ακόμη και η μετακίνηση των πηνίων για μερικά χιλιοστά μπορεί να διαταράξει το σημείο μηδενικής σύζευξης. Για να αποφεύγουμε αυτό τα πηνία πρέπει να είναι πάρα πολύ καλά στερεωμένα αλλιώς η διάταξη δεν θα λειτουργήσει όπως πρέπει. Επειδή η συσκευή λειτουργεί αιωρώντας τη συσκευή πάνω από το έδαφος εάν τα πηνία δεν είναι καλά στερεωμένα, οι μικρές κινήσεις από την αιώρηση θα κουνήσουν τα πηνία και θα προκαλέσουν τη διαταραχή της σύζευξης μεταξύ των πηνίων. Κάτι που θα οδηγήσει σε ανεπιθύμητα σήματα, διότι από αυτή τη μικρή κίνηση των πηνίων, η σύζευξη μεταξύ των πηνίων θα αυξηθεί και ένα ανεπιθύμητο σήμα θα αναπτυχθεί πάνω στο πηνίο RX.

Για να μην συμβεί αυτό, τα πηνία στερεώθηκαν με ρητίνη. Η ρητίνη είναι επίσης γνωστή με την εμπορική ονομασία «υγρό γυαλί». Ετοιμάστηκε ένα καλούπι από φελιζόλ για τη διάταξη διπλού-00. Το σημείο μηδενικής σύζευξης προσδιορίστηκε ενώ τα πηνία βρισκόταν μέσα στο καλούπι. Η ρητίνη πρέπει να ριχτεί πολύ προσεκτικά μέσα στο καλούπι ώστε να μην κουνηθούν τα πηνία αλλιώς με το παραμικρό κούνημα θα χαλάσει το σημείο μηδενικής σύζευξης. Όταν η ρητίνη θα στεγνώσει θα είναι σκληρή έτσι ώστε τα πηνία μέσα στη ρητίνη δεν θα μπορούν να κινηθούν. Αυτή η διαδικασία απαιτεί πολλή προσοχή γιατί μέχρι να στεγνώσει η ρητίνη θα είναι κάπως σε υγρή κατάσταση και τα πηνία μπορούν να «κολυμπήσουν» μέσα στην υγρή ρητίνη με αποτέλεσμα να διαταραχθεί το σημείο μηδέν σύζευξης. Όταν θα στεγνώσει, αυτή η διάταξη θα είναι «η κεφαλή αναζήτησης» του VLF ανιχνευτή μετάλλου.



Εικόνα 7: Χάραγμα καλούπιού



Εικόνα 8: Προσθήκη ρητίνης και διαδικασία στέγνωσης

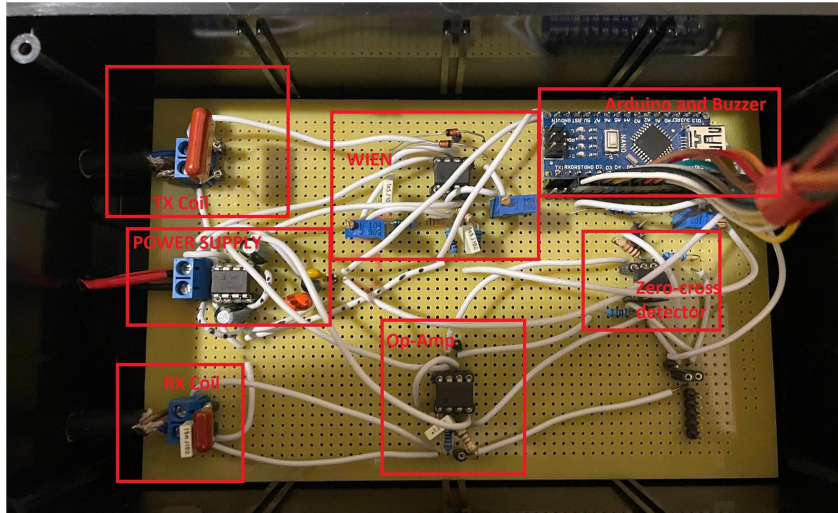


Εικόνα 9: Αφαίρεση της ρητίνης από το καλούπι

Για σύνδεση πηνίων με το υπόλοιπο κύκλωμα χρησιμοποιήθηκαν ομοαξονικά καλώδια με θωράκιση.

4.2. Διάτρητη πλακέτα

Όσο το δυνατόν περισσότερο, χρησιμοποιήθηκαν θηλυκές ακίδες. Με θηλυκές ακίδες, σε περίπτωση βλαβών τα βλαμμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορούν να αντικατασταθούν εύκολα με ένα κούμπωμα χωρίς να χρειάζεται η επανακόλληση. Η διάταξη πάνω στη διάτρητη πλακέτα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 10: Διάτρητη πλακέτα

Τα ομοαξονικά καλώδια συνδέονται στις ηλεκτρολογικές κλέμμες και η θωράκιση τους στην γειώση.

4.3. Μηχανικά μέρη

Για να μην επηρεαστεί το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται στα πηνία, θα πρέπει να υπάρχει ελάχιστο μεταλλικό υλικό στην κατασκευή. Η κατασκευή θα πρέπει να είναι εργονομική ώστε τα πηνία να είναι κοντά στο έδαφος όταν ο χρήστης στέκεται όρθιος.

4.3.1. Κορμί

Για κορμί χρησιμοποιήθηκε ένα ξύλινο κοντάρι σκούπας. Για αισθητικούς λόγους το κοντάρι τυλίχθηκε με μαύρη μονωτική ταινία.



Εικόνα 11: Κορμί

4.3.2. Βάση πηνίων (Κεφαλή αναζήτησης)

Η βάση πηνίων που παρασκευάστηκε με την ρητίνη τοποθετήθηκε σε μια πλαστική κεφαλή σκούπας έτσι ώστε η επιφάνεια της βάσης να κοιτάει προς το έδαφος. Η πλαστική κεφαλή σκούπας επειδή έχει κλίση προς το έδαφος παρέχει την απαιτούμενη γωνία λαβής. Η πλαστική κεφαλή της σκούπας συνδέεται με τη βάση πηνίων με tie wrap.



Εικόνα 12: Κεφαλή αναζήτησης

4.3.3. Χερούλι

Το χερούλι για λαβή κατασκευάστηκε από ξύλο.



Εικόνα 13: Χερούλι

4.3.4. Κουτί κυκλωμάτων

Η διατηρήτη πλακέτα τοποθετήθηκε μέσα στο πλαστικό κουτί. Το πλαστικό το κουτί τοποθετήθηκε κάτω από χερούλι.



4.3.4.1. Οθόνη

Η οθόνη τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος του κουτιού έτσι ώστε ο χρήστης να έχει οπτική επαφή με την οθόνη.



Εικόνα 14: Κουτί πάνω όψη

4.3.4.2. Ποτενσιόμετρο

Το ποτενσιόμετρο τοποθετήθηκε δίπλα στην οθόνη. Ένα πολυστροφικό ποτενσιόμετρο χρησιμοποιήθηκε διότι το πολυστροφικό ποτενσιόμετρο παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια ρύθμισης.



Εικόνα 15: Τοποθέτηση ποτενσιομέτρου και οθόνης

4.3.5. Μπαταριοθήκες και διακόπτης ON/OFF

Δύο μπαταριοθήκες για A23 μπαταρίες και ένας συρόμενος διακόπτης τοποθετήθηκαν κάτω από το χερούλι.



Εικόνα 16: Μπαταριοθήκες και διακόπτης ON/OFF

5. Δοκιμές πεδίου

Μετά την υλοποίηση της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές πεδίου. Όπως εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 2.2.1 εφόσον θέλουμε να ανιχνεύσουμε μεταλλικά αντικείμενα όπως κέρματα, δαχτυλίδια η συχνότητα λειτουργίας του ανιχνευτή μετάλλων πρέπει να είναι μεταξύ 3 kHz – 15 kHz. Αλλά δεν υπάρχει μια τέλεια συχνότητα που να αποδίδει καλύτερα σε οποιοδήποτε είδος μετάλλου ή εδάφους ή μεταλλικού μεγέθους. Ορισμένες συχνότητες αποδίδουν καλύτερα σε συγκεκριμένο τύπο μετάλλων, κάποιες έχουν καλύτερη απόδοση με μεταλλικά αντικείμενα συγκεκριμένου μεγέθους. Αυτό έχει άμεση σχέση με το επιδερμικό φαινόμενο. Με απλά λόγια όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα ενός μεταλλικού

αντικειμένου, τόσο πιο εύκολο είναι να εμφανίζονται τα δινορεύματα στην επιφάνεια του μεταλλικού αντικειμένου σε χαμηλές συχνότητες. Εφόσον δεν μπορούμε να ξέρουμε την αγωγιμότητα, το μέγεθος και άλλα στοιχεία για ένα μεταλλικό αντικείμενο που είναι κάτω από το έδαφος και προφανώς αυτό το αντικείμενο θα αποτελείται από αναμίξεις μερικών τύπων μετάλλων δεν μπορούμε να πούμε η τάδε συχνότητα λειτουργίας ανιχνεύει όλα τα μεταλλικά αντικείμενα. Με απλά λόγια, η χρήση της σωστής συχνότητας λειτουργίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το τι στοχεύουμε να ανιχνεύσουμε.

5.1. Μετρήσεις με διαφορετικές συχνότητες

Για τους παραπάνω λόγους η συχνότητα λειτουργίας πρέπει να επιλέγεται ανάλογα με το τι στοχεύουμε να ανιχνεύσουμε. Και αυτό μπορεί να γίνει δοκιμάζοντας διάφορα μεταλλικά αντικείμενα που αναμένεται να ανιχνεύσει ο ανιχνευτής μετάλλων. Όπως εξηγήσαμε, στόχος μας ήταν να σχεδιάσουμε έναν ανιχνευτή μετάλλων που θα ανιχνεύει καθημερινά μεταλλικά αντικείμενα που έχουν αξία για τον άνθρωπο. Γι' αυτό πειραματιστήκαμε με διαφορετικά μεταλλικά αντικείμενα που έχουν αξία για τον άνθρωπο και στοχεύσαμε να βρούμε την απάντηση στο ερώτημα «με ποια συχνότητα λειτουργίας μπορούν να ανιχνευθούν καλύτερα αυτά τα μεταλλικά αντικείμενα;». Για πειράματα χρησιμοποιήσαμε τα παρακάτω μεταλλικά αντικείμενα:

- Πλάκα αλουμινίου (10 x 10)
- Πλάκα αλουμινίου (5 x 5)
- Κονσέρβα ντολμαδάκια (Διαμ. 10cm)
- Ταψί (Διαμ. 20cm)
- 100 Δραχμές 1992 (Διαμ. 29mm)
- 50 Λεπτά (Διαμ. 24mm)
- 1 Ευρώ (Διαμ. 23mm)
- 2 Ευρώ (Διαμ. 26mm)
- Οθωμανική χρυσή λίρα 36gr (Διαμ. 33mm)
- Οθωμανική χρυσή λίρα 7gr (Διαμ. 21mm)
- Αγγλική χρυσή λίρα 8gr (Διαμ. 19mm)



Εικόνα 17: Πλάκες αλουμινίου



Εικόνα 18: Κονσέρβα



Εικόνα 19: Ταψί



Εικόνα 20: 100 Δραχμές



Εικόνα 21: 50 Λεπτά [5]



Εικόνα 22: 1 ευρώ [5]



Εικόνα 23: 2 Ευρώ [5]



Εικόνα 24: Οθωμανική χρυσή λίρα 36gr



Εικόνα 25: Οθωμανική χρυσή λίρα 7gr



Εικόνα 26: Αγγλική χρυσή λίρα 8gr

5.1.1. Η μέθοδος πραγματοποίηση των πειραμάτων

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν θάβοντας αυτά τα μέταλλα κάτω από το έδαφος και ρυθμίζοντας τον ανιχνευτή μετάλλων σε διαφορετικές συχνότητες. Ο ανιχνευτής μετάλλων ρυθμίστηκε σε μια συγκεκριμένη συχνότητα και το μεταλλικό αντικείμενο θάφτηκε αρχικά σε βάθος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Το πηνίο αναζήτησης του ανιχνευτή μετάλλων κρατήθηκε πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και παρατηρήθηκε αν ανιχνεύτηκε το μεταλλικό αντικείμενο ή όχι. Εάν παρατηρήθηκε ανίχνευση, το μεταλλικό αντικείμενο θάφτηκε λίγο πιο βαθιά. Η επιφάνεια του μεταλλικού αντικειμένου θάφτηκε παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους και η απόσταση μεταξύ της μεταλλικής επιφάνειας και της επιφάνειας του εδάφους μετρήθηκε σε κάθε ταφή. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε μέχρι το βάθος στο οποίο το μεταλλικό αντικείμενο δεν ανιχνεύτηκε από τον ανιχνευτή μετάλλων. Το μεταλλικό αντικείμενο θάφτηκε 1 cm βαθύτερα κάθε φορά, το βάθος τελευταίας ανίχνευσης πριν από το βάθος που δεν πραγματοποιήθηκε η ανίχνευση, καταγράφηκε ως το μέγιστο βάθος ανίχνευσης του μεταλλικού αντικειμένου. Αυτή η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε με όλα τα μεταλλικά αντικείμενα. Αφού ολοκληρωθεί η δοκιμή όλων των μεταλλικών αντικειμένων με την καθορισμένη συχνότητα. Καθορίστηκε νέα συχνότητα λειτουργίας και όλη η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε για τη νέα συχνότητα λειτουργίας.

Η συχνότητα λειτουργίας ρυθμίστηκε αλλάζοντας τις τιμές των στοιχείων του δικτύματος Wien και συγκεκριμένα των αντιστάσεων R9 και R11. Για κάθε νέα συχνότητα που ρυθμίστηκε, τα πηνία συντονίστηκαν αλλάζοντας τις τιμές των πυκνωτών.



Εικόνα 27: Μέτρηση του βάθους ταφής και μετά την ταφή



Εικόνα 28: Απεικόνιση σήματος με τον παλμογράφο εν ώρα ανίχνευσης ενός μεταλλικού αντικειμένου

5.1.2. Αποτελέσματα

Συχνότητα (f)	3.9kHz	5.6kHz	6kHz	7.7kHz
Μεταλλικό αντικείμενο	Βάθος (cm):			
Πλάκα αλουμινίου (10cm x 10cm)	29cm	34cm	31cm	27cm
Πλάκα αλουμινίου (5cm x 5cm)	19cm	23cm	21cm	18cm
Κονσέρβα ντολμαδάκια (Διαμ.: 10cm)	27cm	32cm	28cm	25cm
Ταψί (Διαμ.: 20cm)	37cm	42cm	41cm	36cm
100 Δραχμές 1992 (Διαμ.: 29mm)	9cm	13cm	12cm	8cm
50 Λεπτά (Διαμ.: 24mm)	11cm	14cm	13cm	10cm
1 Ευρώ (Διαμ.: 23mm)	10cm	13cm	13cm	10cm
2 Ευρώ (Διαμ.: 26mm)	12cm	15cm	15cm	12cm
Οθωμανική χρυσή λίρα 36gr (Διαμ.: 33mm)	26cm	31cm	30cm	28cm
Οθωμανική χρυσή λίρα 7gr (Διαμ.: 21mm)	11cm	14cm	14cm	9cm
Αγγλική χρυσή λίρα 8gr (Διαμ.: 19mm)	12cm	13cm	13cm	11cm
Οι παραπάνω λίρες μαζί	28cm	33cm	32cm	26cm
Μέσο βάθος ανίχνευσης	19cm	23cm	22cm	18cm
Tx Coil (L)	2.71mH			
Rx Coil (L)	7.34mH			
Tx C _{Res1} (C)	614nF	332nF	260nF	157nF
Rx C _{Res2} (C)	226nF	122nF	96nF	58nF
Στην γραμμή <<Tx Coil (L)>> εμφανίζεται η αυτοεπαγωγή του πηνίου πομπού				
Στην γραμμή <<Rx Coil (L)>> εμφανίζεται η αυτοεπαγωγή του πηνίου δέκτη				
Η γραμμή <<Tx C _{res} >> εμφανίζει την χωρητικότητα του πυκνωτή που χρησιμοποιήθηκε για τον συντονισμό του πομπού				
Η γραμμή <<Rx C _{res} >> εμφανίζει την χωρητικότητα του πυκνωτή που χρησιμοποιήθηκε για τον συντονισμό του δέκτη				
<<Διαμ.>> είναι η συντομογραφία για την διάμετρο. Η διάμετρος χρησιμοποιείται για την ένδειξη του μεγέθους των κυκλικών μεταλλικών υλικών				
Όλες οι μετρήσεις έγιναν θάβοντας τα μεταλλικά αντικείμενα κάτω στο το έδαφος.				

Η συχνότητα 5,6 kHz έχει το καλύτερο κατά μέσο όρο βάθος ανίχνευσης. Μπορούμε να θεωρήσουμε αυτή τη συχνότητα ως την καλύτερη συχνότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των παραπάνω μεταλλικών αντικειμένων. Η σωστή συχνότητα λειτουργίας αυξάνει το βάθος αναζήτησης κατά 20%, δηλαδή περίπου 5cm. Τα παραπάνω δείγματα μετάλλων επιλέχθηκαν υποθέτοντας ότι είναι τα

αντικείμενα που θα ήθελε περισσότερο να ανιχνεύσει ένας χρήστης. Φυσικά, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η καλύτερη συχνότητα λειτουργίας και κατά μέσο όρο βάθος αναζήτησης μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τα διαφορετικά τύποι μετάλλων.

6. Συμπεράσματα και προτάσεις βελτιώσεις

Ο ανιχνευτής μετάλλων παρέχει ένα ικανοποιητικό βάθος ανίχνευσης για τα μεταλλικά αντικείμενα που υποθέσαμε ότι έχουν αξία για τον άνθρωπο αλλά το βάθος ανίχνευσης μπορεί να βελτιωθεί μελετώντας και πραγματοποιώντας πειράματα με άλλα τύποι μετάλλων. Ειδικά μελετώντας το επιδερμικό φαινόμενο σε άλλα τύποι μετάλλων το βάθος ανίχνευσης μπορεί να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο. Η χρήση πηνίων με περισσότερες περιελίξεις επίσης μπορεί να αυξήσει το βάθος ανίχνευσης. Το δεύτερο που μπορεί να βελτιωθεί είναι η αύξηση της ικανότητας ανίχνευσης μικρών και μεγάλων μεταλλικών αντικειμένων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί σχεδιάζοντας μια διάταξη με πολλές συχνότητες. Επειδή τα μικρά και μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα θα έχουν διαφορετική απόκριση για μικρές και μεγάλες συχνότητες η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών συχνοτήτων θα αυξήσει την ικανότητα ανίχνευσης μικρών και μεγάλων μεταλλικών αντικειμένων. Μπορεί να αναπτυχθεί η διακριτική ικανότητα, ο ανιχνευτής μπορεί να διαχωρίσει μεταξύ τύποι των μετάλλων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μελετώντας την διαφορά φάσης πάνω στο πηνίο RX, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα δινορεύματα του ανιχνευόμενου μέταλλου θα προκαλέσει ένα σήμα με μια διαφορά φάσης πάνω στο πηνίο RX σε σύγκριση με το σήμα στο πηνίο TX. Υλοποιώντας μια διάταξη με συγκριτή φάσης, η διακριτική ικανότητα μπορεί να προστεθεί. Αλλά για να προκαθοριστεί πόση διαφορά φάσης θα προκαλέσει κάθε μεταλλικό αντικείμενο πρέπει να μελετηθούν αρκετά μεταλλικά αντικείμενα, μόνο καθαρά μέταλλα θα προκαλέσουν έντονες διαφορές φάσεις. Εκτός από αυτά ο ανιχνευτής που σχεδιάσαμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρευνα μεταλλικών αντικειμένων στις παραλίες όπου τα μεταλλικά αντικείμενα που έχουν αξία θα μπορέσουν να ανιχνευτούν εντός του βάθους 20 εκατοστών που είναι και το κατά μέσο όρο βάθος ανίχνευσης του ανιχνευτή μας.

Βιβλιογραφία

- [1] George Overton - Carl Moreland, “Inside the Metal Detector” Second Edition. Corvallis, Oregon: Geotech Press, 2015
- [2] “Different Types of Metal Detectors”, <https://treasureseekr.com/different-types-of-metal-detectors/>
- [3] Πάσχου Ιωάννα, «ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ», ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΤΕΙ Καβάλας, 2013, <http://digilib.teiimt.gr/jspui/bitstream/123456789/1507/1/012013083.pdf>
- [4] “The Difference Between PI and VLF Detectors”, <https://metaldetectoruniverse.com/difference-between-pi-and-vlf-detectors/>
- [5] John D. Kraus – Daniel Fleisch, “Ηλεκτρομαγνητισμός και εφαρμογές” Έκδοση 7^η, Εκδόσεις Τζιόλα, 2011
- [6] “Search coil for a metal detector”, <https://coil32.net/metal-detector-search-coil.html>
- [7] “What Is Operating Frequency for Metal Detecting?”, <https://www.metaldetector.com/learn/buying-guide-articles/getting-started/metal-detector-frequency-guide>
- [8] “Best Frequency for Metal Detectors”, <https://metaldetectingtips.com/frequency-metal-detectors/>
- [9] Κωνσταντίνος Θ. Αμοιρίδης - Μιχάλης Ν. Σπάσος, «Σύγχρονες εφαρμογές αναλογικών ηλεκτρονικών». Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Αϊβάζης, 2015
- [10] ΠΑΠΑΒΡΑΜΙΔΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ - ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ, «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ». Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2014
- [11] Malvino Albert Paul, «Ηλεκτρονική» Έκδοση 7^η. Εκδόσεις Τζιόλα, 2010
- [12] “The Wien Bridge Oscillator”, https://www.electronics-tutorials.ws/oscillator/wien_bridge.html
- [13] Μιχάλης Ν. Σπάσος, «ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ». Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Αϊβάζης, 2018
- [14] “Passive High Pass Filter”, https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html
- [15] “Liquid Crystal Displays (LCD) with Arduino”, <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays>
- [16] Arduino, “tone()”, <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/advanced-io/tone/>
- [17] «Επιδερμικό φαινόμενο», <http://www.hellenicaworld.com/Science/Physics/gr/SkinEffect.html>
- [18] Arduino 16×2 LCD Tutorial – Everything You Need to Know, <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/lcd-tutorial/>
- [19] Σημειώσεις στο μάθημα «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ», Η.Μ.Μ.Υ ΑΠΘ, <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS315/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/SHE%20II%2001.pdf>
- [20] Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟ/ΔΟΕΠΥ/ΤΟ ΠΥΝΣ/33/42426/2003 - ΦΕΚ 1124/Β/8-8-2003, <https://www.e-nomothesia.gr/kat-arxaiotites/ya-33-42426-2003.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Κώδικας Arduino

Κώδικας

```
#include <LiquidCrystal.h>

/**/Δηλώσεις ακίδων/**/

int pin = 7;

int buzzer = 6;

unsigned long duration;

const int rs = 12, en = 10, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;

LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

void setup() {

  /**/Δηλώσεις εισόδων/εξόδων/**/

  Serial.begin(9600);

  pinMode(pin, INPUT);

  pinMode(A0, INPUT);

  pinMode(buzzer,OUTPUT);

  /**/Εκτύπωση των αρχικών μηνυμάτων/**/

  lcd.begin(16, 2);

  lcd.print("METAL DETECTOR");

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("v1.0 SEMICH-SALI");

  delay(2023);

  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0, 0);

  lcd.print("SIGNAL: NO METAL ");

  /**/

  Δημιουργία ειδικών πλεγμάτων για την LCD
}
```

Θέλουμε το σήμα να αναπαριστάται σε «μπάρες». Για αυτό δημιουργούμε τις 2 καταστάσεις των «μπάρων». Στη μεταβλητή “Bar1” θα ανάψουν όλα τα pixel του πλέγματος. Στη μεταβλητή “Bar0” ΔΕΝ θα ανάψουν τα pixel του πλέγματος. Ανάλογα με την ισχύ του σήματος θα εκτυπωθούν “Bar1” στην γραμμή της οθόνης. Το “Bar0” είναι για καθαρίσει την γραμμή με, αν έχει μια προηγούμενη κατάσταση θα την σβήσει.

```
*****/
```

```
byte Bar1[8] = {  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
  B11111,  
};
```

```
byte Bar0[8] = {  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
  B00000,  
};
```

```
lcd.createChar(1,Bar0);  
lcd.createChar(0,Bar1);  
}
```

```
void loop() {
```

```
  /******
```

Διαβάζει την τάση αναφοράς και εκτυπώνει στην οθόνη

```
*****/
```

```
int refVol = analogRead(A0);  
float tuneVol = refVol * (5.0 / 1023.0);  
float tuneVol000 = tuneVol * 1000.0;  
Serial.print(tuneVol);  
Serial.println();  
Serial.print(tuneVol000);  
Serial.println();  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("TUNE:");  
lcd.setCursor(5,1);  
lcd.print(tuneVol000);  
lcd.setCursor(10,1);  
lcd.print("mV");  
/*****/
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 91μs-100μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 850 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 9 “Bar1” και 0 “Bar0”

```
*****/
```

```
duration = pulseIn(pin, HIGH);  
if (duration >=91 && duration <= 100) {  
tone(buzzer, 850);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(10, 0);  
lcd.write(byte(0));
```

```

    lcd.setCursor(11, 0);
    lcd.write(byte(0));
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.write(byte(0));
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.write(byte(0));
    lcd.setCursor(14, 0);
    lcd.write(byte(0));
    lcd.setCursor(15, 0);
    lcd.write(byte(0));
}
/*****

```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 81μs-90μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 815 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 8 “Bar1” και 1 “Bar0”

```

*****/

    else if (duration >=81 && duration <= 90) {
        tone(buzzer,815);
        lcd.setCursor(7, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(8, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(9, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(10, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(12, 0);
        lcd.write(byte(0));
        lcd.setCursor(13, 0);

```

```
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.write(byte(1));  
}  
/*****
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 71μs-80μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 770 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 7 “Bar1” και 2 “Bar0”

```
*****/  
  
else if (duration >=71 && duration <= 80) {  
tone(buzzer, 770);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(10, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(11, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(12, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(13, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.write(byte(1));
```

```
}  
/*****
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 61μs-70μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 725 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 6 “Bar1” και 3 “Bar0”

```
*****/
```

```
else if (duration >=61 && duration <= 70) {
```

```
tone(buzzer, 725);
```

```
lcd.setCursor(7, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(8, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(9, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(10, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(11, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(12, 0);
```

```
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(13, 0);
```

```
lcd.write(byte(1));
```

```
lcd.setCursor(14, 0);
```

```
lcd.write(byte(1));
```

```
lcd.setCursor(15, 0);
```

```
lcd.write(byte(1));
```

```
}
```

```
*****/
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 51μs-60μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 680 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 5 “Bar1” και 4 “Bar0”

```
*****/
```

```
else if (duration >=51 && duration <= 60) {  
tone(buzzer, 680);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(10, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(11, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(12, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(13, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.write(byte(1));  
}
```

```
/******
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 31μs-50μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 635 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 4 “Bar1” και 5 “Bar0”

```
*****/
```

```
else if (duration >=31 && duration <= 50) {  
tone(buzzer, 635);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));
```

```
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(10, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(11, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(12, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(13, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.write(byte(1));  
}  
/*****
```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 21μs-30μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 590 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 3 “Bar1” και 6 “Bar0”

```
*****/
```

```
else if (duration >=21 && duration <= 30) {  
tone(buzzer, 590);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(10, 0);
```

```

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(11, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(12, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(13, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(14, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(15, 0);

lcd.write(byte(1));

}
/*****

```

Η συνθήκη, για παλμούς που διαρκούν μεταξύ 1μs-20μs θα παράγει έναν τόνο με συχνότητα 545 Hz και στην οθόνη θα εκτυπώσει 2 “Bar1” και 7 “Bar0”

```

*****/

```

```

    else if (duration >=1 && duration <= 20) {
tone(buzzer, 545);

lcd.setCursor(7, 0);

lcd.write(byte(0));

lcd.setCursor(8, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(9, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(10, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(11, 0);

lcd.write(byte(1));

lcd.setCursor(12, 0);

lcd.write(byte(1));

```

```
lcd.setCursor(13, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(15, 0);  
lcd.write(byte(1));  
}  
/*****
```

Επειδή το Arduino, για παλμούς μεταξύ 0,1 μ s - 2 μ s θα επιστρέψει έναν αριθμό μεγαλύτερο των 300 για αυτό χρειάζεται αυτή η συνθήκη

```
*****/
```

```
else if (duration >=300 && duration <= 20) {  
tone(buzzer, 545);  
lcd.setCursor(7, 0);  
lcd.write(byte(0));  
lcd.setCursor(8, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(9, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(10, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(11, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(12, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(13, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(14, 0);  
lcd.write(byte(1));  
lcd.setCursor(15, 0);
```

```

    lcd.write(byte(1));

}
/*****
Επειδή το Arduino, για παλμούς με μηδενική θα επιστρέψει έναν αριθμό μεταξύ των 13590 - 13750 για
αυτό χρειάζεται αυτή η συνθήκη
*****/

else if (duration >=13590 && duration <= 13750) {

    noTone(buzzer);

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("SIGNAL: NO METAL ");

}

/*****

```

Αν η διάρκεια ισούται με 0 θα εκτυπώσει το αντίστοιχο μήνυμα

```

*****/

else if (duration == 0) {

    noTone(buzzer);

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("SIGNAL: NO METAL ");

}

else {

    noTone(buzzer);

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("SIGNAL: NO METAL ");

}

}

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Νομοθεσία

Νομοθεσία

Υπουργική Απόφαση ΥΠΠΟ/ΔΟΕΠΥ/ΤΟ ΠΥΝΣ/33/42426/2003 - ΦΕΚ 1124/Β/8-8-2003

Κατοχή και χρήση ανιχνευτών μετάλλων και λοιπών οργάνων διασκόπησης του υπεδάφους, του βυθού ή του πυθμένα.

ΑΠΟΦΑΣΗ ΥΠΟΥΡΓΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

Έχοντας υπόψη τις διατάξεις:

- 1.Της παραγράφου 8 του άρθρου 9 του Ν. 2557/1997 "Θεσμοί, μέτρα και δράσεις Πολιτιστικής Ανάπτυξης" (ΦΕΚ Α'281).
- 2.Της παραγράφου 2 του άρθρου 38 του Ν. 3028/2002 "Για τη προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς" (ΦΕΚ Α'153).
- 3.Του Π.Δ. 191/2003 "Οργανισμός Υπουργείου Πολιτισμού" (ΦΕΚ Α'146).
- 4.Την αγορανομική διάταξη αριθ. 17 "Προσθήκη άρθρου 363 (α) της 14/89 Α.Δ. "Ανιχνευτές Μετάλλων" ή άλλων οργάνων διασκόπησης του υπεδάφους ή ακινήτων μνημείων".
- 5.Του άρθρου 29α του Ν. 1558/1985 (ΦΕΚ Α'137) όπως προστέθηκε με το άρθρο 27 του Ν. 2081/1992 (ΦΕΚ Α'154) και αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 παρ. 2α του Ν. 2469/1997 (ΦΕΚ Β'57).
- 6.Το γεγονός ότι από τις διατάξεις της παρούσης δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του Κρατικού Προϋπολογισμού, αποφασίζουμε:

Καθορίζουμε τους όρους και τις Προϋποθέσεις κατοχής και χρήσης ανιχνευτών μετάλλων ή άλλων οργάνων διασκόπησης προς διερεύνηση του υπεδάφους, του βυθού ή του πυθμένα, καθώς και τη διαδικασία χορήγησης των σχετικών αδειών, ως εξής:

Α. Έννοιες

1.Ως "ανιχνευτές μετάλλου" (εφεξής "ανιχνευτές") νοούνται τα όργανα εκείνα που έχουν την δυνατότητα εντοπισμού ενός είδους ή περισσοτέρων ειδών μετάλλων στο υπεδάφος, στο βυθό της θαλάσσης ή στον πυθμένα ποταμών, λιμνών και ελών, ή σε οικοδομήματα.

2.Ως "όργανα διασκόπησης προς διερεύνηση του υπεδάφους, του βυθού ή του πυθμένα" (εφεξής "όργανα") νοούνται τα όργανα εκείνα, δια των οποίων, με χρήση μεθόδων των φυσικών επιστημών και της σύγχρονης τεχνολογίας, καθίσταται δυνατή η διερεύνηση του υπεδάφους, του βυθού της θαλάσσης ή του πυθμένα ποταμών και λιμνών, ιδίως ο εντοπισμός αρχαίων ερειπίων, αρχαιολογικών αποθέσεων, ναυαγίων κλπ.

Β. Κατοχή ανιχνευτών και οργάνων

1.Η κατοχή ανιχνευτών ή και οργάνων τελεί υπό τον έλεγχο των Υπηρεσιών της Γ ενικής Διευθύνσεως Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς του Υπουργείου Πολιτισμού (ΥΠ.ΠΟ). Προς τούτο κατά την πώληση των ανιχνευτών ή και οργάνων στην ημεδαπή, επιβάλλεται να συμπληρώνεται από τους ιδιώτες αγοραστές έντυπο δελτίο κατοχής ανιχνευτών ή και οργάνων, όπως το συνημμένο στην παρούσα παράρτημα. Το πρωτότυπο του δελτίου αυτού αποστέλλεται από τον πωλητή στην Γ ενική Διεύθυνση Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς, στην οποία τηρείται ειδικό μητρώο. Το ειδικό αυτό

μητρώο τηρείται και σε ψηφιακή μορφή, είναι δε προσιτό στις αρμόδιες Υπηρεσίες του ΥΠ.ΠΟ. ή άλλων Υπουργείων. Την ίδια υποχρέωση συμπληρώσεως και αποστολής του έντυπου δελτίου υπέχουν και όσοι εισάγουν στην ελληνική επικράτεια ανιχνευτές και όργανα, τα οποία απέκτησαν στην αλλοδαπή.

2. Για την διάθεση στην αγορά ανιχνευτών μετάλλων ή άλλων οργάνων διασκοπήσεως του υπεδάφους, του βυθού ή του πυθμένου ή ακινήτων μνημείων και χώρων επιβάλλεται όπως στην συσκευασία και στις οδηγίες χρήσεώς τους, αναγράφεται σε εμφανές μέρος και με σαφήνεια, ότι η χρήση των οργάνων αυτών επιτρέπεται μόνο σε συγκεκριμένη περιοχή κατόπιν αδειάς της αρμόδιας Περιφερειακής ή Ειδικής Περιφερειακής Υπηρεσίας της Γενικής Διεύθυνσης Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς του ΥΠ.ΠΟ. (Αγορανομική Διάταξη αριθ. 17/ 21.12.1998 (ΦΕΚ 1330/Β'/31.12.1998).

3. Σε περίπτωση μεταβιβάσεως, καθ' οιονδήποτε τρόπο, των κατεχομένων ανιχνευτών ή και οργάνων, ο μεταβιβάζων οφείλει να δηλώνει χωρίς υπαίτια καθυστέρηση την μεταβίβαση στην αρμόδια Υπηρεσία, καθώς και τα στοιχεία του νέου κατόχου, ο οποίος υποχρεούται να συμπληρώσει και να υποβάλει σ' αυτήν το έντυπο δελτίο της ανωτέρω παραγράφου 3.

4. Όσοι κατέχουν ανιχνευτές ή και όργανα κατά την δημοσίευση της παρούσης αποφάσεως στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως οφείλουν εντός ενός έτους από της ημερομηνίας της δημοσιεύσεως να συμπληρώσουν και να υποβάλουν στην Γενική Διεύθυνση Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς του ΥΠ.ΠΟ. το έντυπο δελτίο κατοχής ανιχνευτών ή και οργάνων.

Γ. Χρήση ανιχνευτών και οργάνων και διαδικασία χορηγήσεως αδειών χρήσεως.

1. Για κάθε χρήση ανιχνευτών ή και οργάνων, ο κάτοχος υποβάλλει στην κατά τόπο αρμόδια Περιφερειακή ή Ειδική Περιφερειακή Υπηρεσία της Γενικής Διεύθυνσης Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς του ΥΠ.ΠΟ. σχετική αίτηση, επισυνάπτοντας φωτοαντίγραφο χάρτου ή τοπογραφικού διαγράμματος καταλλήλου κλίμακος, στον οποίο καθορίζεται η περιοχή όπου θα χρησιμοποιηθούν. Στην αίτηση αναγράφεται οπωσδήποτε ο σκοπός της χρήσεως τους στην καθοριζόμενη ως άνω περιοχή, ο χρόνος της χρήσεως, καθώς και τα πρόσωπα που θα συμμετάσχουν.

2. Δεν επιτρέπεται η χορήγηση αδειάς χρήσης ανιχνευτών ή και οργάνων σε αρχαιολογικούς χώρους ή ιστορικούς τόπους ή σε ζώνες προστασίας καθώς και πλησίον μνημείων ή επί μνημείων. Κατ' εξαίρεση μπορεί να επιτραπεί, μετά από γνώμη του αρμοδίου Τοπικού Συμβουλίου Μνημείων, η χρήση ανιχνευτών ή και οργάνων και στους ανωτέρω χώρους, τόπους ή ακίνητα μνημεία α) στους εκτελούντες αρχαιολογικές έρευνες πεδίου (άρθρα 3538 του Ν.3028/2002), β) στους εκτελούντες εργασίες προστασίας μνημείων (άρθρα 40-43 του Ν. 3028/2002), γ) για εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς και εν γένει για τις ανάγκες της Υπηρεσίας και δ) όταν παρίσταται ανάγκη επισκευής υφισταμένων στους χώρους αυτούς κοινοφελών δικτύων.

3. Δεν επιτρέπεται η χορήγηση αδειάς χρήσης ανιχνευτών ή και οργάνων σε πρόσωπα που δεν παρέχουν τα εχέγγυα για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων που επιβάλλονται από την παρούσα απόφαση, ιδίως δε σε όσους έχουν τα κωλύματα που αναφέρονται στο εδάφιο γ' της παρ.2 του άρθρου 23 του Ν.3028/2002, καθώς και σε όσους έχουν καταδικασθεί αμετάκλητα για παράβαση του Ν.6133/1934 (ΦΕΚ 172/Α'/ 29.5.1934).

4. Η αρμόδια Περιφερειακή ή Ειδική Περιφερειακή Υπηρεσία του ΥΠ.ΠΟ., αφού ελέγξει την νομιμότητα της κατοχής του ανιχνευτού ή και οργάνου και των αιτουμένων ερευνών, μπορεί να χορηγήει την άδεια χρήσης για τον συγκεκριμένο τόπο και χρόνο.

5. Στην άδεια που χορηγείται κατά την προηγούμενη παράγραφο περιλαμβάνονται οι αναγκαίοι όροι, ιδίως για την διασφάλιση των μνημείων και των χώρων κατά την διερεύνηση με ανιχνευτές ή όργανα, για

την ανακοίνωση στην Υπηρεσία των αποτελεσμάτων της διερεύνησης, για τυχόν διενέργεια των εργασιών υπό την εποπτεία υπαλλήλου της Υπηρεσίας, για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα διενεργείας τους κλπ. Η άδεια κοινοποιείται στον ενδιαφερόμενο, στην αρμόδια Κεντρική Υπηρεσία του ΥΠ.ΠΟ., σε τυχόν συναρμόδιες Περιφερειακές Υπηρεσίες του ΥΠ.ΠΟ. και στις κατά τόπον αρμόδιες αστυνομικές ή λιμενικές αρχές.

6.Οι αιτούμενοι διενέργεια αρχαιολογικής έρευνας πεδίου, σύμφωνα με τα άρθρα 35 έως 38 του Ν.3028/2002, οφείλουν να αναφέρουν εάν στον εξοπλισμό τους περιλαμβάνονται ανιχνευτές ή και όργανα και εάν θα κάνουν χρήση αυτών.

7.Η χρήση ανιχνευτών ή και οργάνων χωρίς την άδεια της Υπηρεσίας που προβλέπεται από την παρ. 8 του άρθρου 9 του Ν. 2557/1997, από την παρ. 2 του άρθρου 38 του Ν. 3028/2002 και από την παρούσα απόφαση είναι παράνομη, τιμωρείται δε σύμφωνα με το άρθρο 62 του Ν. 3028/2002 και συνεπάγεται τις προβλεπόμενες από τον ίδιο νόμο συνέπειες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Datasheets

Datasheets

ICL7660



LMC7660

www.ti.com

SNOSBZ9C – APRIL 1997 – REVISED APRIL 2013

LMC7660 Switched Capacitor Voltage Converter

Check for Samples: LMC7660

FEATURES

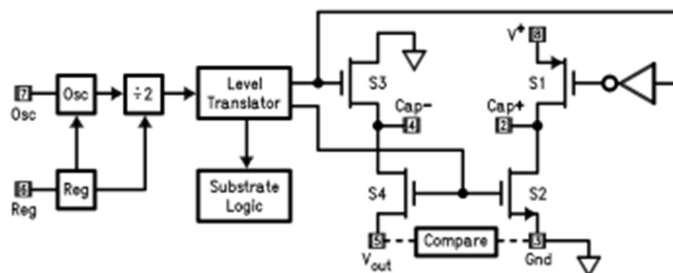
- Operation Over Full Temperature and Voltage Range without an External Diode
- Low Supply Current, 200 μA Max
- Pin-for-pin Replacement for the 7660
- Wide Operating Range 1.5V to 10V
- 97% Voltage Conversion Efficiency
- 95% Power Conversion Efficiency
- Easy to Use, Only 2 External Components
- Extended Temperature Range

DESCRIPTION

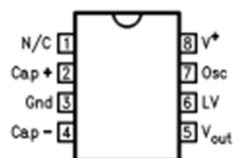
The LMC7660 is a CMOS voltage converter capable of converting a positive voltage in the range of +1.5V to +10V to the corresponding negative voltage of -1.5V to -10V. The LMC7660 is a pin-for-pin replacement for the industry-standard 7660. The converter features: operation over full temperature and voltage range without need for an external diode, low quiescent current, and high power efficiency.

The LMC7660 uses its built-in oscillator to switch 4 power MOS switches and charge two inexpensive electrolytic capacitors.

Block Diagram



Pin Configuration



LM78L 100-mA Fixed Output Linear Regulator

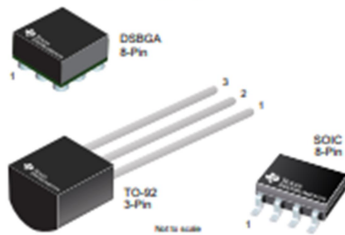
1 Features

- For lower cost alternative, see the UA78L
- Input voltage up to 30 V
- Output voltage tolerances of $\pm 5\%$ over the temperature range
- Available output voltages: 5 V, 6.2 V, 8.2 V, 9 V, 12 V, and 15 V
- Output current of 100 mA
- Output transistor safe area protection
- Internal thermal overload protection
- Internal short-circuit current limit
- No external components
- Available in tiny DSBGA package
- Available in 3-pin TO-92 and 8-pin SOIC low profile packages

2 Applications

- Battery chargers
- Portable instrumentation
- LED lighting
- Appliances

Package Options



3 Description

The LM78L series (LM78Lxx throughout this document) of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Used as a Zener-diode and resistor combination replacement, the LM78Lxx usually provides an effective output impedance improvement of two orders of magnitude and lower quiescent current. These regulators can provide local, on-card regulation, eliminating distribution problems associated with single-point regulation. The available voltages allow the LM78Lxx to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid-state electronic equipment.

The LM78Lxx is available in the plastic TO-92 (LP) package, the SOIC (D) package, and a chip-sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology. With adequate heat sinking, the regulator can deliver 100-mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistors is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation is too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit prevents the IC from overheating.

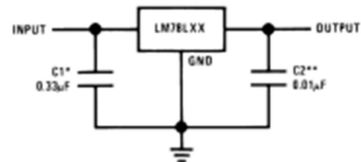
See the [AN-1112 DSBGA Wafer Level Chip Scale Package application note](#) for DSBGA considerations. For more information on the TO-92 package, see the [TO-92 Packing Options/Ordering Instructions application report](#).

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM78L	DSBGA (8)	1.30 mm × 1.30 mm
	SOIC (8)	3.90 mm × 4.90 mm
	TO-92 (3)	3.70 mm × 4.70 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Fixed Output Regulator Circuit



LM741 Operational Amplifier

1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

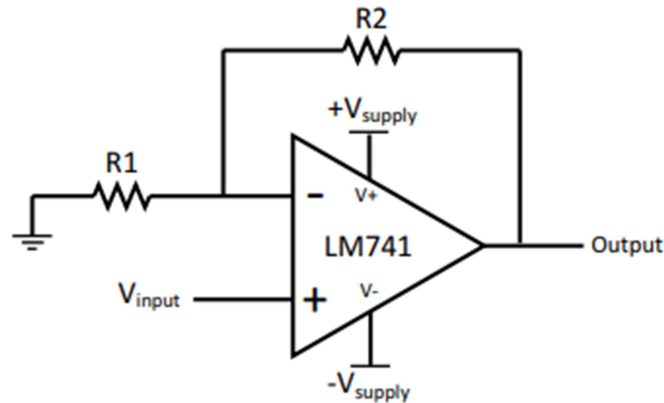
The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 6.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application



TL08xx FET-Input Operational Amplifiers

1 Features

- High slew rate: 20 V/ μ s (TL08xH, typ)
- Low offset voltage: 1 mV (TL08xH, typ)
- Low offset voltage drift: 2 μ V/ $^{\circ}$ C
- Low power consumption: 940 μ A/ch (TL08xH, typ)
- Wide common-mode and differential voltage ranges
 - Common-mode input voltage range includes V_{CC+}
- Low input bias and offset currents
- Low noise:
 - $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ) at $f = 1 \text{ kHz}$
- Output short-circuit protection
- Low total harmonic distortion: 0.003% (typ)
- Wide supply voltage: $\pm 2.25 \text{ V}$ to $\pm 20 \text{ V}$, 4.5 V to 40 V

2 Applications

- Solar energy: string and central inverter
- Motor drives: AC and servo drive control and power stage modules
- Single phase online UPS
- Three phase UPS
- Pro audio mixers
- Battery test equipment

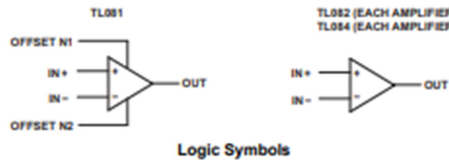
3 Description

The TL08xH (TL081H, TL082H, and TL084H) family of devices are the next-generation versions of the industry-standard TL08x (TL081, TL082, and TL084) devices. These devices provide outstanding value for cost-sensitive applications, with features including low offset (1 mV, typical), high slew rate (20 V/ μ s), and common-mode input to the positive supply. High ESD (1.5 kV, HBM), integrated EMI and RF filters, and operation across the full -40°C to 125°C enable the TL08xH devices to be used in the most rugged and demanding applications.

Device Information

PART NUMBER ⁽¹⁾	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TL081x	PDIP (8)	9.59 mm \times 6.35 mm
	SC70 (5)	2.00 mm \times 1.25 mm
	SO (8)	6.20 mm \times 5.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm \times 3.90 mm
	SOT-23 (5)	1.60 mm \times 1.20 mm
TL082x	PDIP (8)	9.59 mm \times 6.35 mm
	SO (8)	6.20 mm \times 5.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm \times 3.90 mm
	SOT-23 (8)	2.90 mm \times 1.60 mm
	TSSOP (8)	4.40 mm \times 3.00 mm
TL082M	CDIP (8)	9.59 mm \times 6.67 mm
	LCCC (20)	8.89 mm \times 8.89 mm
TL084x	PDIP (14)	19.30 mm \times 6.35 mm
	SO (14)	10.30 mm \times 5.30 mm
	SOIC (14)	8.65 mm \times 3.91 mm
	SOT-23 (14)	4.20 mm \times 2.00 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm \times 4.40 mm
TL084M	CDIP (14)	19.56 mm \times 6.92 mm
	LCCC (20)	8.89 mm \times 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



Logic Symbols

LM111, LM211, LM311 Differential Comparators

1 Features

- Fast Response Time: 165 ns
- Strobe Capability
- Maximum Input Bias Current: 300 nA
- Maximum Input Offset Current: 70 nA
- Can Operate From Single 5-V Supply
- Available in Q-Temp Automotive
 - High-Reliability Automotive Applications
 - Configuration Control and Print Support
 - Qualification to Automotive Standards
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters Are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.

2 Applications

- Desktop PCs
- Body Control Modules
- White Goods
- Building Automation
- Oscillators
- Peak Detectors

3 Description

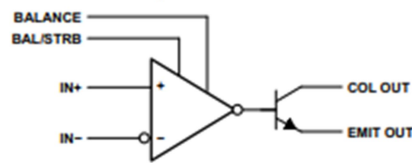
The LM111, LM211, and LM311 devices are single high-speed voltage comparators. These devices are designed to operate from a wide range of power-supply voltages, including ± 15 -V supplies for operational amplifiers and 5-V supplies for logic systems. The output levels are compatible with most TTL and MOS circuits. These comparators are capable of driving lamps or relays and switching voltages up to 50 V at 50 mA. All inputs and outputs can be isolated from system ground. The outputs can drive loads referenced to ground, V_{CC+} or V_{CC-} . Offset balancing and strobe capabilities are available, and the outputs can be wire-OR connected. If the strobe is low, the output is in the off state, regardless of the differential input.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE
LM111FK	LCCC (20)	8.89 mm × 8.89 mm
LM111JG	CDIP (8)	9.60 mm × 6.67 mm
LM311PS	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm
LM211D	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
LM311D		
LM211P	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
LM311P		
LM211PW	TSSOP (8)	3.00 mm × 4.40 mm
LM311PW		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Simplified Schematic

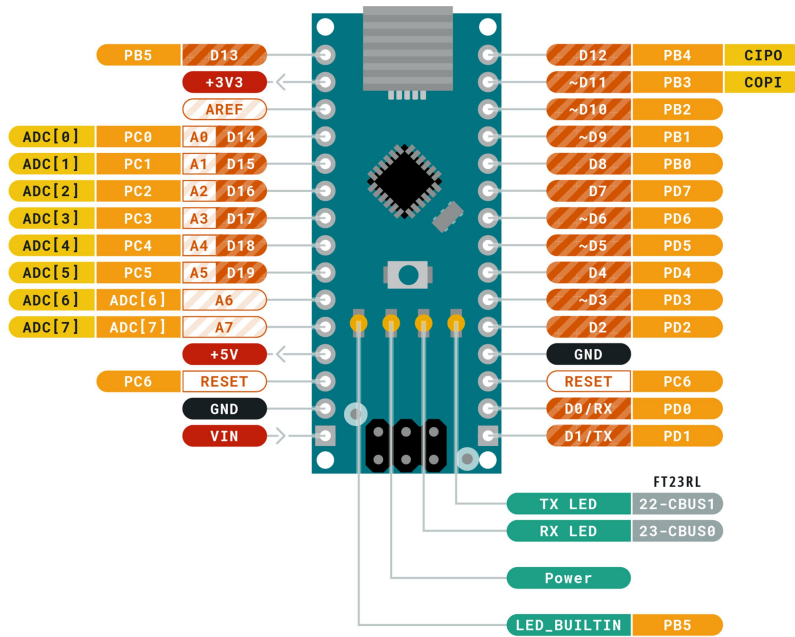


Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Arduino Nano



ARDUINO NANO



Ground	Internal Pin	Digital Pin	Microcontroller's Port
Power	SWD Pin	Analog Pin	
LED	Other Pin	Default	



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.