



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

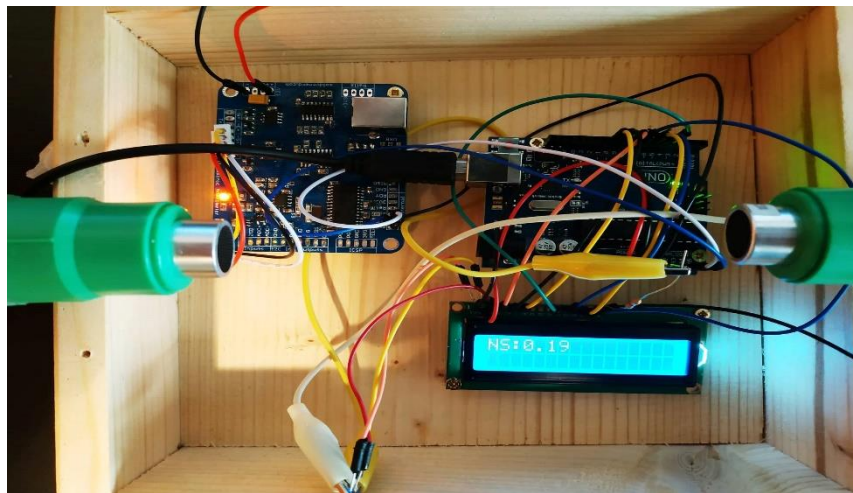
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Σχεδίαση και υλοποίηση ανεμόμετρου με υπερήχους



Φοιτητής:

Σαββαΐδης Αναστάσιος

ΚΑΣ:513154

Εισηγητής: Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Θεσσαλονίκη 2021

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Τίτλος Π.Ε. Σχεδίαση και υλοποίηση ανεμόμετρου με υπερήχους

Κωδικός Π.Ε. 17157

Ονοματεπώνυμο φοιτητή/τών Σαββαΐδης Αναστάσιος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 1/3/2018

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 15/1/2021

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

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

Η έγκριση της πτυχιακής 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.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Περίληψη

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου με την χρήση υπέρηχων. Με άλλα λόγια η ταχύτητα που χρειάζεται ο ήχος να ταξιδέψει με την παρεμβολή ή όχι του αέρα. Ο υπέρηχος είναι ένα ηχητικό κύμα με συχνότητες υψηλότερες από το ανώτερο ακουστικό όριο της ανθρώπινης ακοής. Επιπλέον θα γίνει μελέτη και η κατασκευή ενός υπερηχητικού ανεμόμετρου. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μια αναφορά σχετικά με την λειτουργία τα υπερηχητικών ανεμόμετρων και τα είδη αυτών. Στη συνέχεια γίνεται μια πιο λεπτομερής αναφορά για τις εφαρμογές και τις λειτουργίες των υπερηχητικών ανεμομέτρων. Επίσης γίνεται αναφορά υλικών SMD και αναφορά πλακέτας Arduino. Τέλος στα επόμενα κεφάλαια γίνεται η παρουσίαση της κατασκευής στο υπερηχητικό ανεμόμετρο με την βοήθεια ενός Arduino Uno και μια παρουσίαση μικρού βίντεο λειτουργίας του.

Abstract

This thesis aims to measure the speed of wind with the help of ultrasound. In other words the speed that sound needs to travel with or without the interference of air. Ultrasound is a sound wave with frequencies higher than the human ear can detect. Furthermore, an ultrasonic anemometer will be studied and constructed . During the first chapters, there is a report regarding the function and genres of ultrasonic anemometers. Subsequently, there is a more detailed report regarding the applications and functions of ultrasonic anemometers. Moreover, there is a reference apropos the SMD materials and the Arduino board. In the last chapters takes place the presentation in the construction of an ultrasonic anemometer with the help of an Arduino Uno, along with a small video showing how it operates.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Λέξεις κλειδιά-Συντομογραφίες

SMD Surface-Mount Device

PWM Pulse Width Modulation

PCB Printed Circuit Board.

IBM International Business Machines

IDE Integrated Drive Electronics

LCD Liquid Crystal Display

CAD Computer-Aided Design

UAV Unmanned Aerial Vehicle

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας, υπήρξε υποστήριξη από ανθρώπους του στενού οικογενειακού κύκλου και όχι μόνο. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κιοσκερίδη Ιορδάνη, για την ευκαιρία που με έδωσε να εντρυφήσω σε ένα θέμα που με προβληματίζε αρκετό καιρό, πριν διαλέξω την πτυχιακή εργασία αυτή. Αφού θα συνεχίσω να βελτιώνω και να ασχολούμαι με αυτό και μετά την αποφοίτηση μου. Θέλω να τον ευχαριστήσω επίσης για την υπομονή που έκανε κατά την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας, καθώς επίσης και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Όπως και το γεγονός ότι ήταν διαθέσιμος και πρόθυμος να με βοηθήσει κάθε φορά που συναντούσα κάποιο πρόβλημα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν εκτός του ακαδημαϊκού περιβάλλοντος. Οι οποίοι, είτε λίγο είτε πολύ, συνέβαλαν στην υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας. Αυτοί οι άνθρωποι υπήρξαν σημαντικοί γιατί με τις γνώσεις και τις εμπειρίες τους πάνω στο κομμάτι των ηλεκτρονικών και των ανεμομέτρων με καθοδήγησαν σωστά φτάνοντας στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα του οικογενειακού μου περιβάλλοντος που μου στάθηκαν στις αποτυχίες μου και δε με άφησαν να το βάλω κάτω. Σε αυτούς τους ανθρώπους χρωστάω πολλά και τους αφιερώνω την εργασία μου.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	3
Κεφάλαιο 1	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Αίτια και τρόπος δημιουργίας ανέμου	9
1.3 Μέτρηση και διεύθυνση ανέμου	9
1.4 Μεταβολή ταχύτητας ανέμου	11
1.5 Υπερηχητικό (Ultrasound) ανεμόμετρο.....	12
1.6 Αρχή λειτουργίας υπερηχητικού ανεμόμετρου.....	13
1.7 Χαρακτηριστικά και manual υπερηχητικού ανεμομέτρου	19
1.7.1 Μερικά χαρακτηριστικά από την ιστοσελίδα της GILL	20
1.7.2 Και από το manual	21
1.8 Εφαρμογές ανεμομέτρου υπερήχων.....	22
Κεφάλαιο 2	24
2.1 Τι είναι αισθητήρας.....	24
2.2 Αισθητήρες και μορφομετροποιείες	24
2.3 Κατηγορίες αισθητήρων	25
2.3.1 Απόλυτοι και σχετικοί αισθητήρες	25
2.3.2 Παθητικοί και ενεργοί αισθητήρες.....	25
Κεφάλαιο 3	26
3.1 Εισαγωγή Arduino	26
3.2 Η ιστορία της πλακέτας Arduino	26
3.3 Υλικό (Hardware)	27
3.5 Σφάλματα με Arduino	30
Κεφάλαιο 4	31
4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα.....	31
4.2 Σχεδιάγραμμα και διαστάσεις αισθητήρα.....	33

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

4.3 Γραφήματα παλμού του αισθητήρα	34
4.4 Σφάλματα και λειτουργίες σένσορα	35
Κεφάλαιο 5	36
5.1 Τι είναι μικροελεγκτής.....	36
5.2 Τι είναι οι PIC μικροελεγκτές.....	37
5.3 Τι είναι I ² C δίαυλος	37
5.4 Δίαυλοι Master και Slave.....	38
Κεφάλαιο 6	40
6.1 Λειτουργία αναλογικού κυκλώματος.....	40
6.1.1 12V drive.....	42
6.1.2 Διακριτικοί mosfet switches.....	43
6.1.3 Ενεργό φίλτρο υψηλής διέλευσης (op amp amplifier filters)	44
6.1.4 Ενεργό φίλτρο ζώνης-περάσματος (Active Bandpass Filter)	44
6.1.5 Σήμα μέσω των 74HC4052 Dual 4-Channel Multiplexer.....	45
6.1.6 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (power supply)	45
6.1.7 Λειτουργία προγραμματισμού και διαγράμματα ροής	46
6.2 Με λίγα λόγια.....	50
5.4 Σχηματικό αναλογικού κυκλώματος.....	51
6.5 Μετρήσεις υπερηχητικού ανεμομέτρου.....	56
6.5.1 Μετρήσεις αναλογικού κυκλώματος.....	60
6.5.2 Συμπέρασμα μετρήσεων	61
6.6 Υλικά αναλογικού κυκλώματος.....	62
6.7 Συμπέρασμα.....	63
Παράρτημα.....	64
Βιβλιογραφία	72

Κεφάλαιο 1

Υπερηχητικό ανεμόμετρο

1.1 Εισαγωγή

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα θεμελιώδες ατμοσφαιρικό στοιχείο και προκαλείται από την κίνηση του αέρα από μεγάλη πίεση σε μικρότερη. Το ανεμόμετρο είναι μία συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου. Υπάρχουν δύο είδη, αυτά που μετράνε την ταχύτητα του ανέμου και αυτά που μετρούν την πίεση του, αλλά καθώς υπάρχει κοντινή σχέση μεταξύ αυτών των μεγεθών μπορούμε από κάθε είδος να πάρουμε και τις δύο μετρήσεις. Υπάρχουν έξι γνωστά είδη αισθητήρων της ταχύτητας του ανέμου:

- Ανεμούριο(wind vane) ή “ουρά του κόκκορα”
- Κυπελλοφόρο (Cup)
- Υπερήχων, υπερηχητικών κυμάτων
- Θερμού σύρματος Hot-wire
- Laser Doppler
- Ping Pong Ball

Και **πίεσης** του ανέμου:

- Πιάτα (Plate)
- Σωλήνα-κύλινδρου (Tube)

Σε αυτή την εργασία θα αναπτυχθεί η συσκευή μέτρησης ανέμου με την χρήση υπερηχητικού ανεμόμετρου.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.2 Αίτια και τρόπος δημιουργίας ανέμου

Ο άνεμος είναι η ροή αερίων σε μεγάλη κλίμακα. Οι άνεμοι ταξινομούνται συνήθως από τη χωρική κλίμακα, την ταχύτητά τους, τους τύπους δυνάμεων που τους προκαλούν, τις περιοχές στις οποίες συμβαίνουν και το αποτέλεσμα τους.

Ετοιμολογικά όποια κίνηση θεωρείται ‘‘οριζόντια κίνηση’’ του αέρα ονομάζεται άνεμος. Η δημιουργία του ανέμου ευθύνεται στα πιο ζεστά ρεύματα αέρα, στα οποία η μάζα τους είναι πιο ελαφριά από τις υπόλοιπες μάζες γύρω κάνοντας της έτσι να ανέβει ψηλά, έχοντας έτσι ανοδική πορεία (κίνηση). Έτσι, όλες οι άλλες πιο ψυχρές αέριες μάζες τείνουν να κινηθούν προς τα κάτω.

Από την άλλη, όταν μια μάζα ψύχει γρήγορα γίνεται πιο βαριά έχοντας μια καθοδική πορεία (κίνηση) σπρώχνοντας τις πιο ελαφριές μάζες προς τα πάνω.

Αυτή η μεταφορά μάζας από την ψυχρότερη στη πιο ζεστή περιοχή, έχοντας διαφορετική θερμοκρασία του αέρα είναι η αιτία δημιουργίας ανέμου.

1.3 Μέτρηση και διεύθυνση ανέμου

Η διεύθυνσή του ανέμου είναι το σημείο από όπου πνέει ο άνεμος και όχι προς τα που. Εκφράζεται σε είτε σε μοίρες είτε με σύμβολα. Συχνό λάθος είναι η έκφρασή του με αναφορά στην ένταση, δηλαδή αντί να πούμε ότι ο άνεμος έχει βόρεια διεύθυνσή 0 μοιρών, λέμε ότι έχει βόρεια διεύθυνση 1 μποφόρ. Κάνοντας έτσι λάθη συνεννόησης. Στον πίνακα 1 βλέπουμε τις σωστές ορολογίες έκφρασης του ανέμου.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Πίνακας διεύθυνσης ανέμου:

Διεύθυνση Επίσημο	Δ.Σ. Όνομα διεθνές
B (000°) <u>Βόρειος</u>	N <i>North</i>
BA (045°) <u>Μέσης</u>	NE <i>Northeast</i>
A (090°) <u>Απηλιώτ ης</u>	E <i>East</i>
NA (135°) <u>Εύρος</u>	SE <i>Southeast</i>
N (180°) <u>Νότιος</u>	S <i>South</i>
NΔ (225°) <u>Δίβας</u>	SW <i>Southwest</i>
Δ (270°) <u>Ζέφυρος</u>	W <i>West</i>
BΔ (315°) <u>Σκίρων</u>	NW <i>Northwest</i>

Πίνακας 1

Όπως προαναφέραμε η κατεύθυνση του ανέμου εκφράζεται από την κατεύθυνση που έρχεται, για παράδειγμα ένας βόρειος άνεμος πνέει από τον βορά προς τον νότο ή από τον βορά προς την ανατολή και ούτω καθεξής. Έτσι, δημιουργήθηκαν όργανα ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου μετράτε με ανεμόμετρα, συνήθως χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενα κύπελλα ή έλικες. Όταν απαιτείται υψηλή συχνότητα μέτρησης (όπως σε ερευνητικές εφαρμογές), ο άνεμος μπορεί να μετρηθεί με την ταχύτητα διάδοσης των σημάτων υπερήχων. Ένας άλλος τύπος ανεμόμετρου χρησιμοποιεί pitot που εκμεταλλεύονται τη διαφορά πίεσης μεταξύ ενός εσωτερικού σωλήνα και ενός εξωτερικού σωλήνα που εκτίθεται στον άνεμο για τον

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

προσδιορισμό της δυναμικής πίεσης, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου.

Η μέτρηση του ανέμου είναι στην ουσία το ποσοστό της δυναμικής ενέργειας που μετατρέπεται σε κινητική. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να υπολογίζεται το απόθεμα της ατμόσφαιρας δυναμική ενέργεια. Δηλαδή η ενέργεια που παράγεται από τις ανισότητες θερμοκρασίας-θέρμανσης της Γης.

Οι ανισότητες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες ζωνική διαθέσιμη δυναμική ενέργεια και στροβιλοειδή διαθέσιμη δυναμική ενέργεια. Η πρώτη παράγεται από την αντίθεση θερμοκρασίας Πόλων και τροπικών, ενώ η δεύτερη από την θερμοκρασία θάλασσας και ξηράς.

1.4 Μεταβολή ταχύτητας ανέμου

Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου σε μικρή κλίμακα επηρεάζεται από εμπόδια όπως δέντρα, κτήρια, οργωμένα χωράφια ή όχι ακόμα και ένα φύλλο χαρτιού. Περιοχές σε ύψωμα ή περιοχές με κάποιο υγρό στοιχείο γύρω μπορεί να δημιουργήσει μεταβολή στη ταχύτητα του ανέμου. Έτσι η τριβή που προκαλείται ανάλογα με το στοιχείο που υπάρχει στην περιοχή δημιουργεί μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητά του ανέμου στην επιφάνεια του εδάφους είναι μηδενική λόγω της τριβής του αέρα με την επιφάνεια.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.5 Υπερηχητικό (Ultrasound) ανεμόμετρο

Το πρώτο ανεμόμετρο υπερήχων αναπτύχθηκε το 1970, το οποίο χρησιμοποιεί υπερηχητικά κύματα ήχου για να μετρήσει την ένταση του ανέμου. Το υπερηχητικό ανεμόμετρο-θερμόμετρο είναι ένας αισθητήρας που με την χρήση του μικροϋπολογιστή που διαθέτει μετράει την ένταση του αέρα σε έναν, δύο ή τρεις άξονες με αξιόπιστη ακρίβεια.

Αποτελούνται από δύο ζευγάρια μορφομετατροπών και η συνηθισμένη απόσταση μεταξύ τους είναι 10-20cm ενώ η κατασκευή τους είναι από πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και είναι τελείως σφραγισμένα για εξωτερική χρήση. Μπορούν να πάρουν μετρήσεις με αρκετά καλή ανάλυση (>20Hz), και η σχεδιαστική τους δομή τους επιτρέπει, λόγω της έλλειψης κινουμένων μερών, την μακροπρόθεσμη χρήση τους σε εκτεθειμένους σταθμούς καιρού όπου η αξιοπιστία των παραδοσιακών κυπελλοφόρων και ανεμούριων (vane) επηρεάζεται αρνητικά από το αλατισμένο νερό και τις μεγάλες ποσότητες σκόνης. Υπάρχουν δύο είδη υπερηχητικών ανεμόμετρων: δύο διαστάσεων (2D Two-Dimensional) & τριών διαστάσεων (3D Three-Dimensional). Τα 3D υπερηχητικά ανεμόμετρα χρησιμοποιούνται για ανίχνευση εκπομπής αερίων και ροές οικοσυστημάτων ενώ η χρήση τους είναι πολύ συχνή. Δύο διαστάσεων (ταχύτητας αέρα & κατεύθυνσης) ανεμόμετρα υπερήχων χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως σταθμούς καιρού, πλοήγησης πλοίων, ανεμοτουρμπίνων, σημαδούρες αεροπορίας και καιρικών φαινομένων. Όσο αφορά τα 2D ηχητικά ανεμόμετρα υπερήχων αποτελούνται από δύο κατηγορίες:

1. Δύο διαδρομών, με τέσσερις βραχίονες-στηρίγματα, οι οποίες είναι ευκολότερες στον σχεδιασμό από αυτές με τρία στηρίγματα που αναφέρονται παρακάτω αλλά μειονεκτούν όταν ο άνεμος “πέφτει” σε μία διαδρομή υπερήχων δημιουργώντας αεροδυναμική αναταραχή.

2. Τριών διαδρομών, με τρεις βραχίονες-στηρίγματα, οι οποίες έχουν πλεονασμό μίας διαδρομής. Μεγάλη ακρίβεια και λιγότερη αεροδυναμική αναταραχή.

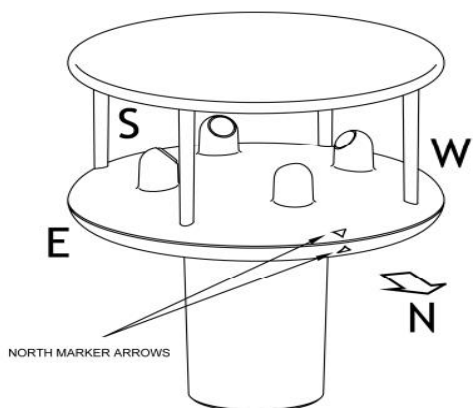
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Από μία άλλη σκοπιά μπορούμε να δούμε ορισμένες περιπτώσεις που η χρήση του να μην έχει επιθυμητά αποτελέσματα. Λόγω της κατασκευαστικής του δομής οι στηρίξεις των μορφομετατροπέων μπορεί να επηρεάσουν τα μετρούμενα αποτελέσματα των μετρήσεων, κάτι το οποίο μπορεί να διορθωθεί βέβαια ώστε να μην έχει σημαντικές αποκλίσεις. Μία παγκόσμια προδιαγραφή που χρησιμοποιείται για τέτοιου είδους διορθώσεις είναι η ISO 16622 Μετεωρολογικά-ηχητικά ανεμόμετρα / θερμόμετρα-Μέθοδοι δοκιμής αποδοχής για μέσες μετρήσεις ανέμου (*D.P.Messa*). Ένα ακόμα μειονέκτημα των υπερηχητικών ανεμόμετρων είναι η χαμηλή ακρίβεια λόγω της κατακρήμνισης, δηλαδή των άσχημων καιρικών συνθηκών όπως βροχή που μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα του ήχου. Επίσης είναι πολύ εύκολο να “μετατραπεί” σε θερμόμετρο καθώς ουσιαστικά η πίεση μένει σταθερή και η ταχύτητα ήχου ποικίλει ανάλογα με την θερμοκρασία.

1.6 Αρχή λειτουργίας υπερηχητικού ανεμόμετρου

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου επιτυγχάνεται μετρώντας τον χρόνο που χρειάζεται ο ηχητικός παλμός να “ταξιδέψει” στα ζευγάρια των μορφομετατροπέων, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει ένας υπερηχητικός παλμός από τον έναν μορφομετατροπέα στον άλλον και να γυρίσει πίσω (*Suomi I 2018*). Κάθε ανεμόμετρο υπερήχων αποτελείται από τουλάχιστον δύο ζευγάρια πομπού-δέκτη υπερήχων. Για παράδειγμα ένα υπερηχητικό ανεμόμετρο απεικονίζεται στις εικόνες παρακάτω.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



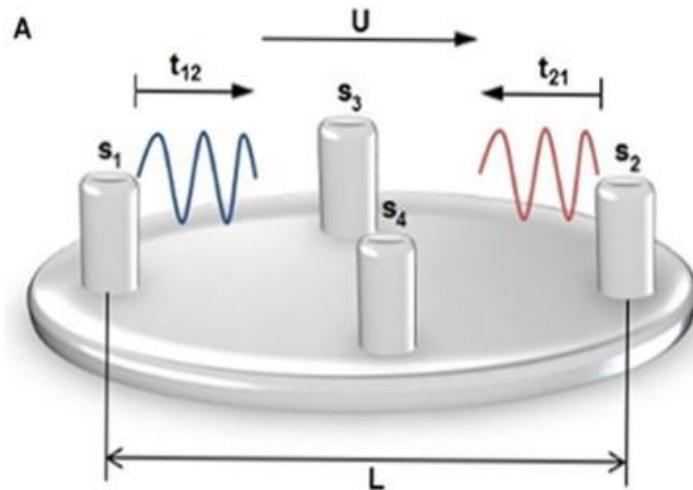
Εικόνα 1: 2D υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ: GILL



Εικόνα 2: 2D υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ: GILL

Τα υπερηχητικά ανεμόμετρα μετράνε τον χρόνο που κάνει ο παλμός από τον βόρειο μορφομετατροπέα (με το κόκκινο βελάκι)(N) προς τον νότιο (προς την κατεύθυνση που δείχνει το κόκκινο βέλος)(S) και τον συγκρίνει με τον χρόνο που χρειάζεται ένας παλμός από τον νότιο προς τον βόρειο μορφομετατροπέα. Το ίδιο ακριβώς γίνεται και για τους άλλους δύο, τον ανατολικό(E) και τον δυτικό(W). Για παράδειγμα αν ο άνεμος έχει κατεύθυνση προς την δύση, ο χρόνος που θα χρειαστεί για να πάει το υπερηχητικό κύμα από την ανατολή(E) στην δύση θα είναι μικρότερος από αυτόν της δύσης προς την ανατολή.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 3: Μαθηματικό παράδειγμα ΠΗΓΗ: *Front. Neuroeng*

Η μαθηματική εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η ταχύτητα ανέμου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$V = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (1)$$

Όπου:

L είναι η απόσταση πομπού δέκτη

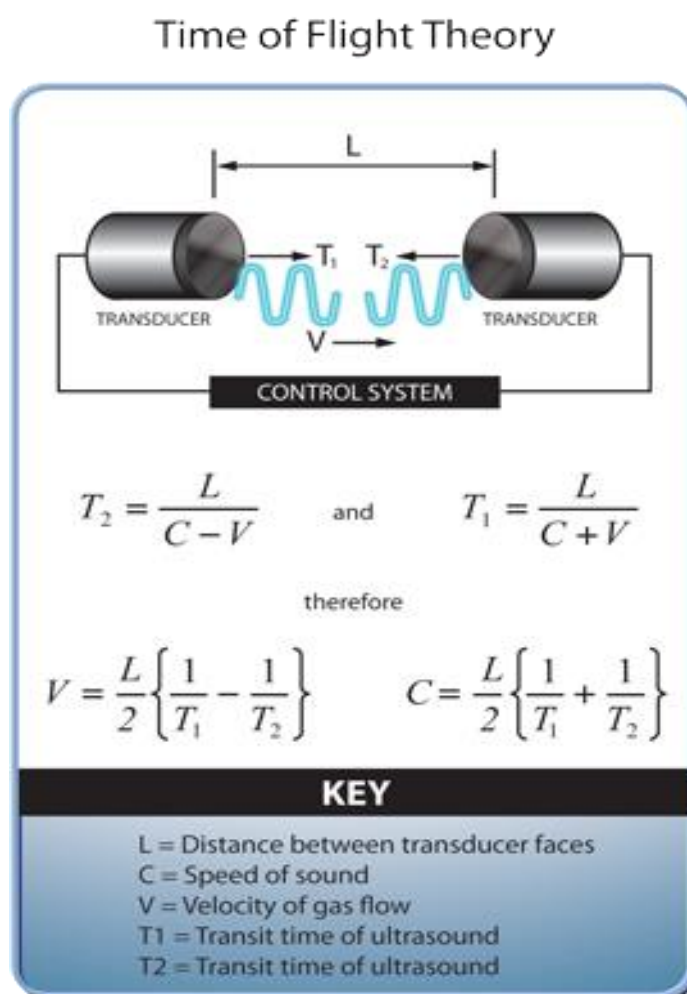
και

t₁, t₂ υπολογίζονται:

$$t_1 = \frac{L}{c + V}, \quad t_2 = \frac{L}{c - V} \quad (2) (3)$$

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

όπου c είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα (η οποία είναι περίπου ίση με 320m/s στους 20 βαθμούς κελσίου) και V είναι η ταχύτητα του ανέμου. Κατά την μία διαδρομή προστίθεται η ταχύτητα του ανέμου διανυσματικά στην c και αντιστοίχως στην άλλη διαδρομή αφαιρείται. Η εικόνα παρακάτω είναι από το manual της GILL και μας δείχνει τους 2 μορφομετατροπείς και τις μαθηματικές εξισώσεις που αναλύσαμε προηγουμένως.



Εικόνα 4: μαθηματικές εκφράσεις ΠΗΓΗ: GILL

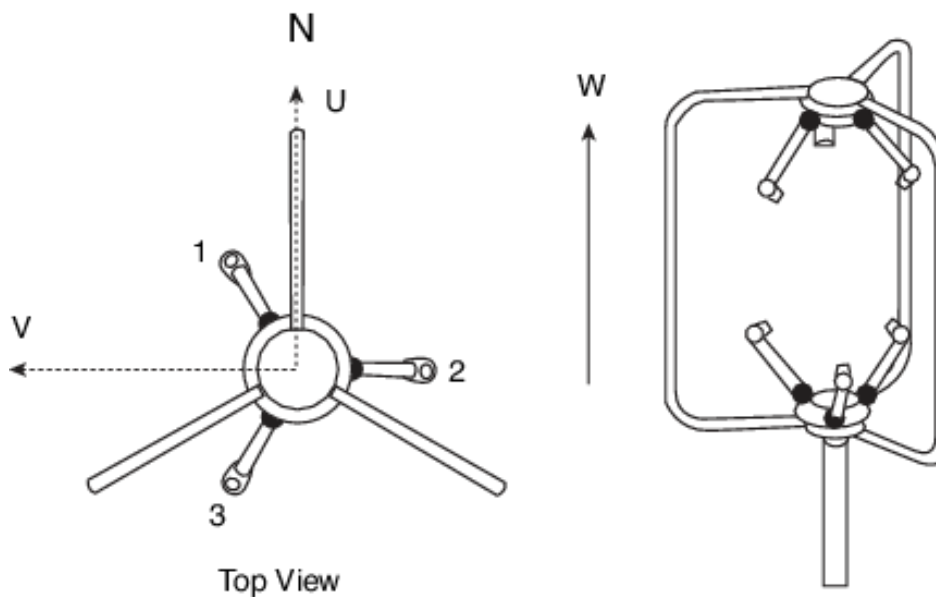
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Η μεταφορά δεδομένων από ένα υπερηχητικό ανεμόμετρο γίνεται σειριακά σε UART(Universal Asynchronous Receiver/Trasmitter) μορφοποίηση με συμβατότητα RS-232C ως πρότυπο σειριακής επικοινωνίας μεταφοράς δεδομένων. Τα δεδομένα απεικονίζονται σε ANSI δεκαδικά νούμερα έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε υπολογιστή για την εμφάνιση των μετρήσεων της ταχύτητας καθώς και της θερμοκρασίας.

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ο τρόπος που “βλέπουμε” τα δεδομένα του αέρα. Από τις ταχύτητες των τριών αξόνων υπολογίζεται η ταχύτητα του ανέμου και μπορούμε να πάρουμε σαν έξοδο τρεις διαφορετικές μορφές δεδομένων:

- (U,V), & W σε 3D (U είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου(m/s) μετρημένη ως προς την διεύθυνση του νότιου άξονα, V είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου(m/s) μετρημένη 90° αριστερόστροφα ως προς την διεύθυνση του νότιου άξονα, W είναι η κάθετη ταχύτητα του ανέμου(m/s) μετρημένη ως προς την διεύθυνση του κονταριού της βάσης.
- Πολικό αριθμό, W ή UV σε 2D: Η ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο του UV, με κατεύθυνση σε μοίρες από 0 μέχρι 359°.
- Ταχύτητα των αξόνων: ανεπεξέργαστες τιμές των ταχυτήτων U, V, W.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



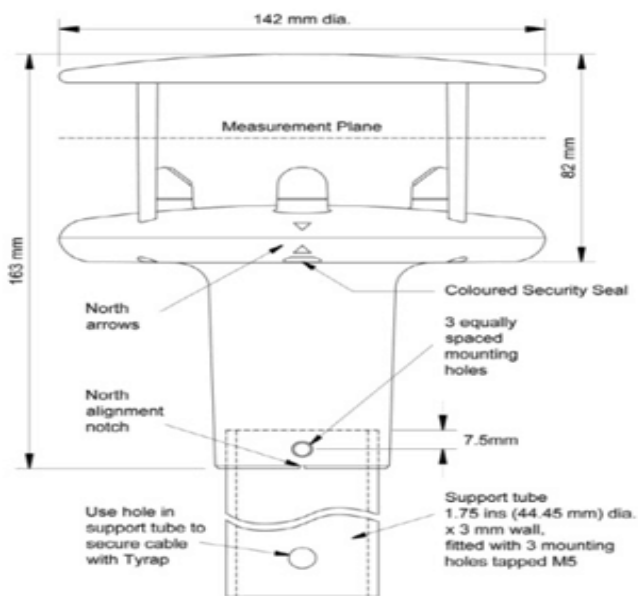
Εικόνα 5 3D υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ: ReasearchGate

Γενικά το συγκεκριμένο όργανο είναι σχεδιασμένο να μετράει την ένταση-ταχύτητα του ανέμου μεταφέροντας υπερηχητικά σήματα. Αυτές οι πληροφορίες επεξεργάζονται στον μικροπολογιστή που διαθέτει, με αποτέλεσμα να υπολογίζει την ταχύτητα του ανέμου σε τρεις άξονες (3D). Ακόμα λόγω της έλλειψης κινούμενων μερών είναι αρκετά αποτελεσματικό στις γρήγορες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου, καθώς αξίζει να αναφερθεί ότι μεταβάλλεται γραμμικά στην αλλαγή του, αλλά και στη προσαρμογή-ρύθμιση του (γνωστή ως καλιμπράρισμα) που είναι εγκατεστημένη από τους σχεδιαστικές του παραμέτρους και έτσι μπορεί να θεωρηθεί απόλυτο όργανο ως προς τις μετρήσεις του.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.7 Χαρακτηριστικά και manual υπερηχητικού ανεμομέτρου

Στη φωτογραφία παρατηρούμε ένα υπερηχητικό ανεμόμετρο της **GILL** συγκεκριμένα το μοντέλο **WindSonic M**.



Εικόνα 6 χαρακτηριστικά ενός WindSonic M ΠΗΓΗ: GILL



Εικόνα 7 υπερηχητικό ανεμόμετρο της εταιρίας Gill ΠΗΓΗ: GILL

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.7.1 Μερικά χαρακτηριστικά από την ιστοσελίδα της GILL

WIND SPEED

Range	0 - 60 m/s (116 knots)
Accuracy	±2% @12 m/s
Resolution	0.01 m/s (0.02 knots)
Response Time	0.25 seconds
Threshold	0.01 m/s

DIRECTION

Range	0 - 359° (No dead band)
Accuracy	±2° @12 m/s
Resolution	1°
Response Time	0.25 seconds

MEASUREMENT

Ultrasonic Output Rate	0.25, 0.5, 1, 2 or 4 Hz
Parameters	Wind Speed & Direction or U and V (vectors)
Units of Measure	m/s, knots, mph, kph, ft/min

OUTPUTS

Digital	RS232 + RS422 + RS485**** + NMEA*
Baud Rate	2400 to 38400
Analogue (optional)	0-5v or 0-20mA or 4-20mA

MECHANICAL

External Construction	Al. Alloy 6061 T6
Finish	Hard Anodised
Size	142mm x 163mm
Weight	0.9kg

ENVIRONMENTAL

Protection Class	IP66 BS EN 60529 : 1992
Operating Temperature	-40°C to +70°C (with heating) -35°C to +70°C (without heating)
Storage Temperature	-40°C to +80°C
Operating Humidity	< 5% to 100% RH
Precipitation	300mm/hr
EMC	BS EN 61326 : 2006 & BS EN 60945 : 2002
Impact Resistance	UL2218 Class 1
Compass Safe Distance	BS EN 60945: 2002 Section 11.2
Vibration	BS EN 60945 : 2002

OPERATIONAL

Warranty	2 years
Factory Calibration	Traceable to National Standards

Εικόνα 8 χαρακτηριστικά της εταιρείας Gill ΠΗΓΗ: GILL

Η GILL είναι μια εταιρεία με πολυετή εμπειρία στα υπερηχητικά ανεμόμετρα. Τα χαρακτηριστικά του WindSonic M είναι τόσο αξιόπιστα όσο χρειάζονται για επαγγελματική χρήση σε αντίξοες συνθήκες.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.7.2 Και από το manual

Output	
Units of measure	Metres/second (m/s), Knots, Miles per hour (mph), Kilometres per hour (kph), Feet per minute (fpm)
Output frequency	0.25, 0.5, 1, 2, or 4 outputs per second
Digital Output Parameters	Polar - Speed and Direction UV - 2 axis, signed Speed NMEA Speed and Direction Tunnel - U speed & U Polarity
Wind Speed	
Range	0 – 60m/s,
Accuracy	± 2% (at 12m/s)
Resolution	0.01 m/s
Wind Direction	
Range	0 - 359°
Accuracy	± 3° (at 12m/s)
Resolution	1°
Digital output formats	
Gill ASCII	Continuous or Polled (output on request by host system) Polar (Speed and Direction) or UV (2 axis, signed Speed)
Marine – NMEA	NMEA 0183 version 3
Tunnel	Tunnel - U speed & U Polarity
Communication formats	
Data Levels	RS232, RS422 and RS485 (2 wire Point to Point only)
Baud Rates	2400, 4800, 9600, 19200, 38400
Anemometer status	Status OK and error codes (not for heating) included in output message
Power requirement	
Sensor Power	Sensor Power 5V to 30 V dc. Sensor Current 9mA @ 12V DC (1Hz, 9600B, RS232). Sensor Current 5.5mA @ 12V DC (0.25Hz, 9600B, RS232).
Heater Power	Heater Power 10V to 30.0V DC. Heater Power 24V rms AC ± 10 % @50/60Hz. Heater Current Allow for 2.2 Amps @ 12V DC nominal supply (26W max.). Heater Current Allow for 4.2 Amps @24v AC or DC nominal Supply (100W max.).
Mechanical	
Size / Weight	Size 142mm diameter x 160mm Weight 0.9kg.
Mounting	Pipe mounting 1.75 inches (44.45mm) diameter.
Material	External – Aluminium Alloy 6082 T6, hard anodise finish. Connector - Polycarbonate blend.

Εικόνα 9: manual της εταιρείας GILL ΠΗΓΗ: GILL

Το manual της εταιρείας αυτής είναι κατάλληλο και εύκολο στη χρήση ακόμα και χωρίς εξειδίκευση εξειδίκευση στο τομέα του υπερηχητικών ανεμομέτρων.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

1.8 Εφαρμογές ανεμομέτρου υπερήχων

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται πλέον τα υπερηχητικά ανεμόμετρα είναι πολλές. Αυτό διότι είναι ένα όργανο υπολογισμού του ανέμου όπου είναι αρκετά βολικό χωρίς να θέλει αρκετή συντήρηση. Οι εφαρμογές αυτού είναι:

1. Εφαρμογή σε οχήματα UAV. Τα UAV είναι πλέον το μέλλον, καθώς χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στη καθημερινότητά μας τόσο για επαγγελματική όσο και για καθημερινή χρήση. Η παρακολούθησή των μετεωρολογικών πληροφοριών είναι μια χρήση αυτού. Έτσι για παράδειγμα αν σε ένα όχημα UAV τύπου drone προσκολληθεί ένα υπερηχητικό ανεμόμετρο μπορεί να πάρει μετρήσεις σχετικά σε κάποιο δύσκολο περιβάλλον που είναι δύσκολο να φτάσει η ανθρώπινη παρουσία.



Εικόνα 10: drone με υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ ZATA

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

2. Εφαρμογή σε πλοία βαριάς βιομηχανίας. Με τα χρόνια έχουν παρατηρηθεί πολλά ατυχήματα σε πλοία που βρέθηκαν πολύ γρήγορα σε κυκλώνες ή κακές καταγίδες με αποτέλεσμα πολλές φορές να υπάρχουν θύματα και να χάνεται φορτίο λόγω βύθισης πλοίων. Ο λόγος που χρησιμοποιούν πλέον μεγάλες εταιρείες στα πλοία τους τα υπερηχητικά ανεμόμετρα είναι η γρήγορη καταγραφή αλλαγής ταχύτητας του ανέμου προβαίνοντας έτσι τα χειρότερα. Πλέον υπερσύγχρονα υπερηχητικά ανεμόμετρα μπορούν να κάνουν καταγραφή καιρικών φαινομένων σε έναν ηλεκτρονικό χάρτη εφόσον η πορεία του πλοίου είναι σταθερή, ώστε να ξέρουν περίπου τον καιρό χωρίς να έχουν φτάσει στο προορισμό τους.



Εικόνα 11: πλοίου με υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ ZATA

3. Εφαρμογή σε βιομηχανίες αιολικής ενέργειας. Η συντήρηση μιας αιολικής γεννήτριας είναι ένα δαπανηρό κόστος. Αυτό συμβαίνει επειδή πολλές φορές τα ρεύματα αέρα αλλάζουν γρήγορα και η γεννήτρια δεν προλαβαίνει να επιβραδύνει δημιουργώντας έτσι προβλήματα στη μελλοντική χρήση της. Έτσι, με την βοήθεια υπερηχητικών ανεμόμετρων λόγω πραγματικής ώρας δεδομένων ταχύτητας του ανέμου μέσω ενός αυτόματου συστήματος η γεννήτρια αυξομειώνει την ταχύτητα της μεγαλώνοντας την διάρκεια ζωής της και την μείωση των χρημάτων συντήρησης.



Εικόνα 12: Εικόνα αιολικής γεννήτριας με υπερηχητικό ανεμόμετρο ΠΗΓΗ ZATA

Κεφάλαιο 2

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

2.1 Τι είναι αισθητήρας

Με τον όρο αισθητήρα εννοείται ένα όργανο το οποίο το χρησιμοποιούμε για την μέτρηση κάποιου φυσικού μεγέθους. Αυτό με ορούς φυσικής σημαίνει ότι μετατρέπει το φυσικό μέγεθος που μετράμε σε ηλεκτρικό ρεύμα. Κάποια παραδείγματα στα οποία χρησιμοποιούμε αισθητήρες είναι θέση ενός αντικειμένου, η απόσταση ενός αντικειμένου, η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η τάση, η ακτινοβολία, το ρεύμα και αλλά. Δηλαδή με άλλα λόγια η χρήση τους χρησιμεύει στη συλλογή πληροφοριών που μας βοηθούν στον έλεγχο φυσικών ή τεχνητών καταστάσεων.

2.2 Αισθητήρες και μορφομετροπείς

Όπως αναφέρθηκε αισθητήρας είναι το όργανο για τη μέτρηση κάποιου φυσικού μεγέθους. Σε αντίθεση ο μορφομετατροπέας μετατραπεί μια ενέργεια σε μια άλλη. Η διαφορά τους είναι πατάει πάνω σε μια λεπτή γραμμή καθώς δεν είναι πάντα αντιληπτή, αυτό σημαίνει ότι ο αισθητήρας κάνει την ενέργεια μετατροπής, ενώ ο μορφομετατροπέας πρέπει λόγω κατασκευαστικής δομής και λειτουργίας να βλέπει-αισθάνεται κάποιο υπαρκτό (φυσικό) μέγεθος. Η έξοδος των μορφομετατροπέων δεν μπορεί να είναι άλλη πέρα από ψηφιακή ή αναλογική. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μορφομετατροπέων, κάποιοι από αυτοί είναι:

1. Ενεργός. Δηλαδή ανεξάρτητα από το ποια είναι η ενέργεια που λαμβάνει αυτός αντλεί ενέργεια.
2. Αναστρεφόμενος. Είναι αυτός που και στις δυο διευθύνσεις του οι απώλειες είναι ίδιες.
3. Μονόπλευρος. Είναι αυτός που έχει μόνο μια διεύθυνση και λειτουργεί μόνο αυτή.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

2.3 Κατηγορίες αισθητήρων

2.3.1 Απόλυτοι και σχετικοί αισθητήρες

Απολυτός είναι ο αισθητήρας που η παραγωγή του σήματος του είναι απολυτή και δεν μας ενδιαφέρουν οι φυσικές ή τεχνητές συνθήκες που υπάρχουν γύρω του. Ενώ σχετικός αισθητήρας είναι αυτός που μας ενδιαφέρει το πεδίο τιμών που αναφέρεται σε συγκεκριμένη κλίμακα. Παράδειγμα απόλυτου αισθητήρα είναι η μέτρηση πίεσης με αναφορά το νερό ενώ σχετικού είναι πιεσόμετρο.

2.3.2 Παθητικοί και ενεργοί αισθητήρες

Ενεργοί αισθητήρες ονομάζονται αυτοί που χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν, ενώ αυτοί που δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται παθητικοί. Παράδειγμα ενεργού αισθητήρα είναι ένας ηλεκτρικός μετασχηματιστής, ενώ παράδειγμα κάποιου παθητικού αισθητήρα είναι πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.

Κεφάλαιο 3

Πλατφόρμα Arduino

3.1 Εισαγωγή Arduino

Το Arduino είναι μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Οι περισσότερες εκδόσεις του Arduino μπορούν να αγοραστούν προ-συναρμολογημένες· το διάγραμμα και πληροφορίες για το υλικό είναι ελεύθερα διαθέσιμα για αυτούς που θέλουν να συναρμολογήσουν το Arduino μόνοι τους.

3.2 Η ιστορία της πλακέτας Arduino

Το 2005 ένα σχέδιο κίνησε προκειμένου να φτιαχτεί μία συσκευή για τον έλεγχο προγραμμάτων διαδραστικών σχεδίων από μαθητές, η οποία θα ήταν πιο φθηνή από άλλα πρωτότυπα συστήματα διαθέσιμα εκείνη την περίοδο. Οι ιδρυτές Massimo Banzi και David Cueartielles ονόμασαν το σχέδιο από τον Αρντουίνο της Ιβρέας και ξεκίνησαν να παράγουν πλακέτες σε ένα μικρό εργοστάσιο στην Ιβρέα, κωμόπολη της επαρχίας Τορίνο στην περιοχή Πεδεμόντιο της βορειοδυτικής Ιταλίας - την ίδια περιοχή στην οποία στεγαζόταν η εταιρία υπολογιστών Olivetti.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Το σχέδιο Arduino είναι μία διακλάδωση της πλατφόρμας Wiring για λογισμικό ανοικτού κώδικα και προγραμματίζεται χρησιμοποιώντας μια γλώσσα βασισμένη στο Wiring (σύνταξη και βιβλιοθήκες), παρόμοια με την C++ με απλοποιήσεις και αλλαγές, καθώς και ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE).

3.3 Υλικό (Hardware)

Μία πλακέτα Arduino αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Atmel AVR (ATmega328 και ATmega168 στις νεότερες εκδόσεις, ATmega8 στις παλαιότερες) και συμπληρωματικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωσή του σε άλλα κυκλώματα (Arduino.cc 2009). Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz. Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής.

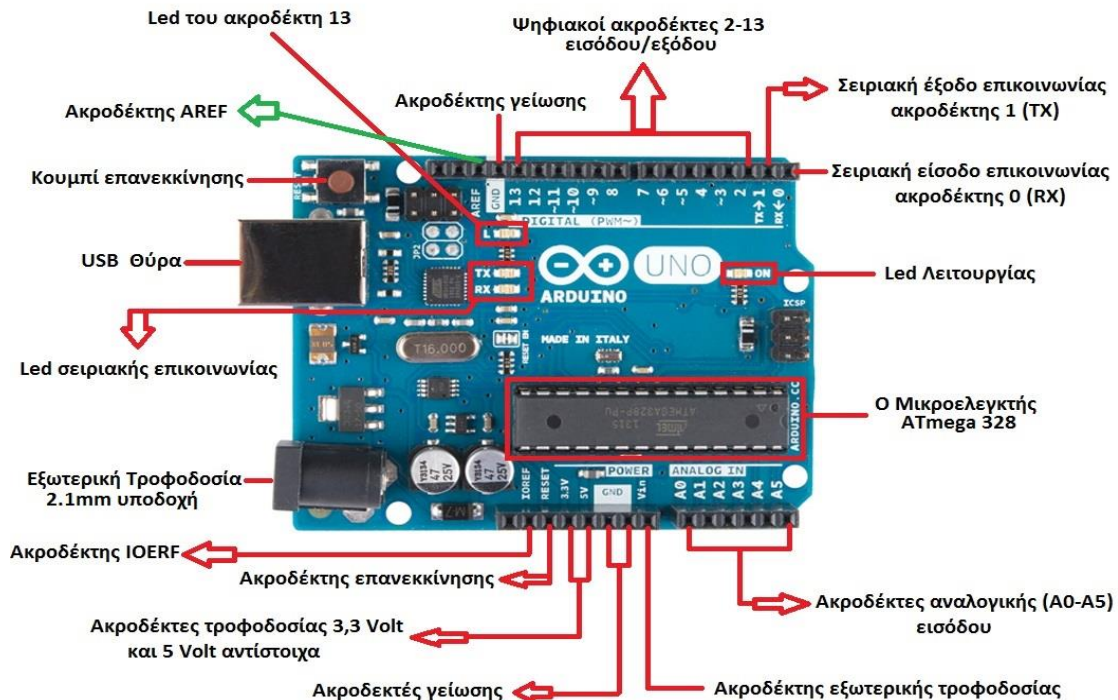
Σε εννοιολογικό επίπεδο, στην χρήση του Arduino software stack, όλα τα boards προγραμματίζονται με μία RS-232 σειριακή σύνδεση, αλλά ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό διαφέρει σε κάθε hardware εκδοχή. ‘‘Οι σειριακές πλάκες Arduino περιέχουν ένα απλό level shifter κύκλωμα για την μετατροπή του σήματος επιπέδου RS-232 σε TTL. Τα σημερινά Arduino προγραμματίζονται μέσω USB· αυτό καθίσταται δυνατό μέσω της εφαρμογής προσαρμογέων chip USB-to-Serial όπως το FTDI FT232 (Lahart, Justin 2009)’. Κάποιες παραλλαγές, όπως το Arduino mini και το ανεπίσημο Boarduino, χρησιμοποιούν ένα αφαιρούμενο USB-to-Serial καλώδιο ή board, Bluetooth ή άλλες μεθόδους. (Όταν χρησιμοποιείται με παραδοσιακά εργαλεία microcontroller αντί για το Arduino IDE, χρησιμοποιείται πρότυπος προγραμματισμός AVR ISP).

Ο πίνακας Arduino εκθέτει τα περισσότερα microcontroller I/O pins για χρήση από άλλα κυκλώματα. Τα Diecimila, Duemilanove και το τρέχον Uno παρέχουν 14 ψηφιακά I/O pins, έξι από τα οποία μπορούν να παράγουν pulse-width διαμορφωμένα σήματα, και

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

έξι αναλογικά δεδομένα. Αυτά τα pins βρίσκονται στην κορυφή του πίνακα μέσω female headers 0.1 ιντσών (2,2mm). Διάφορες εφαρμογές ασπίδων plug-in είναι εμπορικά διαθέσιμες.

Το Arduino nano και το Arduino-Compatible Bare Bones Board και Boarduino Board ενδέχεται να παρέχουν male header pins στο κάτω μέρος του board προκειμένου να συνδέονται σε Breadboards. Υπάρχουν πολλά boards συμβατά με και προερχόμενα από Arduino boards. Κάποια είναι λειτουργικά ισάξια με ένα Arduino και μπορεί να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Πολλοί είναι το βασικό Arduino με την προσθήκη καινοτόμων output drivers, συχνά για την χρήση σχολικής μόρφωσης για να απλοποιήσουν την κατασκευή buggies και μικρών robot. Άλλες είναι ηλεκτρικά ισάξια αλλά αλλάζουν τον παράγοντα μορφής, επιτρέποντας κάποιες φορές την συνεχόμενη χρήση των Shields ενώ κάποιες όχι. Κάποιες παραλλαγές είναι τελείως διαφορετικοί επεξεργαστές, με ποικίλα επίπεδα συμβατότητας.



Εικόνα 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino ΠΗΓΗ: Arduino code

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

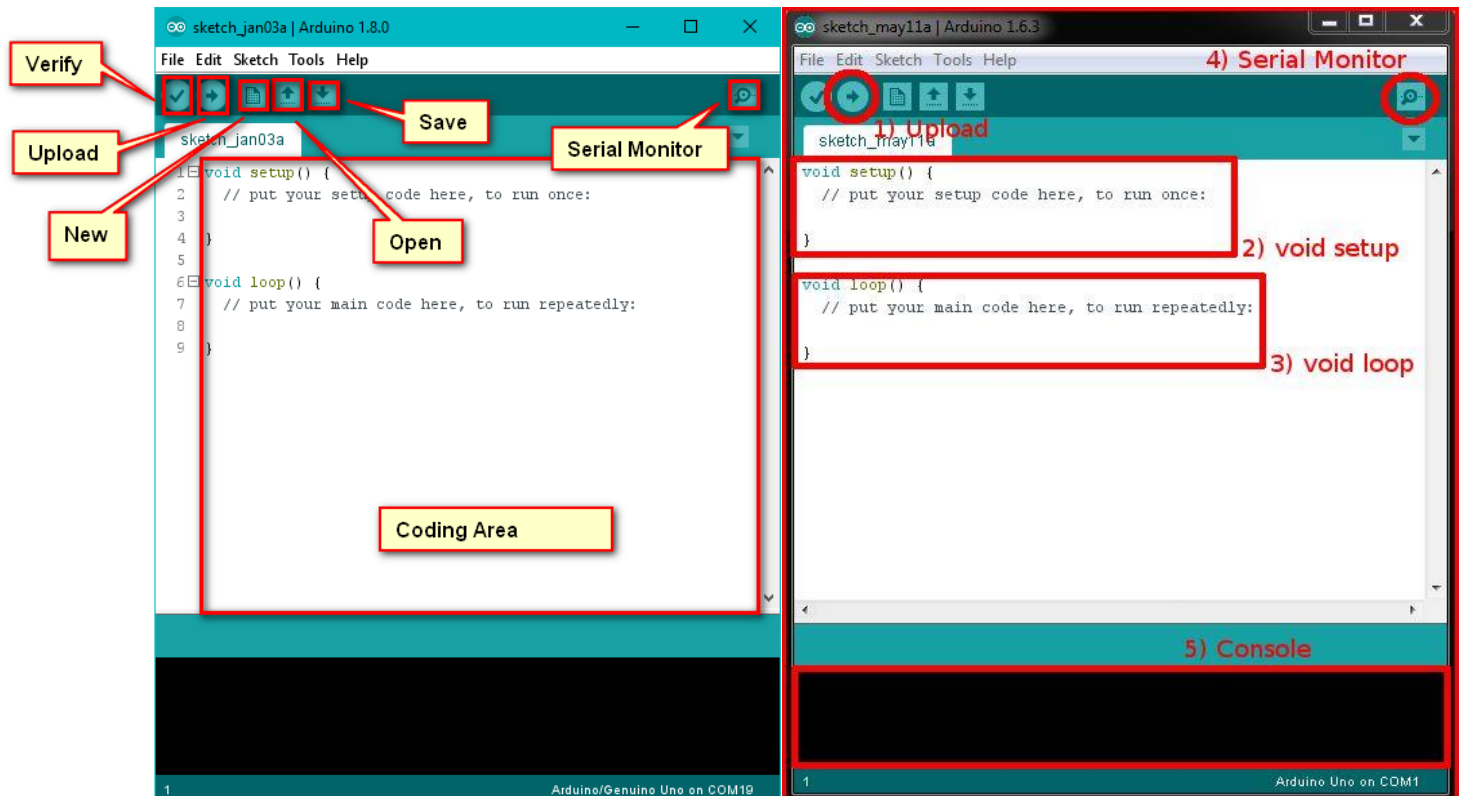
3.4 Πως προγραμματίζεται το Arduino

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μία εφαρμογή γραμμένη σε Java, που λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες και προέρχεται από το IDE για τη γλώσσα προγραμματισμού Processing και το σχέδιο Wiring. Έχει σχεδιαστεί για να εισαγάγει στον προγραμματισμό τους καλλιτέχνες και τους νέους που δεν είναι εξοικειωμένοι με την ανάπτυξη λογισμικού. ‘Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με χαρακτηριστικά όπως είναι η επισήμανση σύνταξης και ο συνδυασμός αγκύλων και είναι επίσης σε θέση να μεταγλωττίζει και να φορτώνει προγράμματα στην πλακέτα με ένα μόνο κλικ. Δεν υπάρχει συνήθως καμία ανάγκη να επεξεργαστείτε αρχεία make ή να τρέξετε προγράμματα σε ένα περιβάλλον γραμμής εντολών. Ένα πρόγραμμα ή κώδικας που γράφτηκε για Arduino ονομάζεται σκίτσο (sketch)’ (McGraw-Hill 2011).

Τα Arduino προγράμματα είναι γραμμένα σε C ή C++. Το Arduino IDE έρχεται με μια βιβλιοθήκη λογισμικού που ονομάζεται "Wiring", από το πρωτότυπο σχέδιο Wiring, γεγονός που καθιστά πολλές κοινές λειτουργίες εισόδου/εξόδου πολύ πιο εύκολες. Οι χρήστες πρέπει μόνο να ορίσουν δύο λειτουργίες για να κάνουν ένα πρόγραμμα κυκλικής εκτέλεσης:

- `setup()`:μία συνάρτηση που τρέχει μία φορά στην αρχή του προγράμματος η οποία αρχικοποιεί τις ρυθμίσεις
- `loop()`:μία συνάρτηση που καλείται συνέχεια μέχρι η πλακέτα να απενεργοποιηθεί.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 14: περιβάλλον προγραμματισμού Arduino ΠΗΓΗ: Arduino code

3.5 Σφάλματα με Arduino

Υπάρχουν περιπτώσεις που τα Arduino δημιουργούν αρκετά σφάλματα. Περιπτώσεις σαν και αυτές είναι είτε κακή μεταχείριση της μητρικής πλακέτας από κάποιο χτύπημα είτε να δημιουργηθεί πρόβλημα σε κάποιο υλικό smd από εξωτερικό παράγοντα όπως οι καιρικές συνθήκες π.χ. (στατικός ηλεκτρισμός, υγρασία κτλ.). Έχουν παρατηρηθεί και σφάλματα του μικροελεγκτή όπως για παράδειγμα ο συνεχής επαναπρογραμματισμός του έπειτα από το τερματισμό της λειτουργίας του.

Κεφάλαιο 4

Αισθητήρα mcusd16a40s12ro

4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα



Εικόνα 15: αισθητήριο mcusd16a40s12ro ΠΗΓΗ: Farnell

Technical Terms:

No	Item	Specification
1	Part Number	MCUSD16A40S12RO
2	Construction	Open structure
3	Using Method	Dual Use
4	Centre Frequency	40 ± 1kHz
5	Output Sound Pressure	min. 110dB (40kHz) 0dB=0.0002μbar
6	Sensitivity at 40kHz	min. -65dB/V/ μbar
7	Capacitance	2,500pF ± 25% at 1kHz
8	Directivity	50°
9	Operating Temperature Range	-35°C to 85°C
10	Storage Temperature Range	-35°C to 85°C
11	Detectable Range	0.7...18m
12	Housing Material	Aluminium

Πίνακας 2

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Πλεονεκτήματα:

1. Αρκετά φθηνός
2. Μετρήσεις σχετικά σωστές με μερική απόκλιση
3. Εύκολος στη χρήση

Μειονεκτήματά:

1. Δεν είναι αδιάβροχος (έχει ευαισθησία και στην υγρασία)
2. Δεν έχει ήδη κολλημένα τα καλώδια

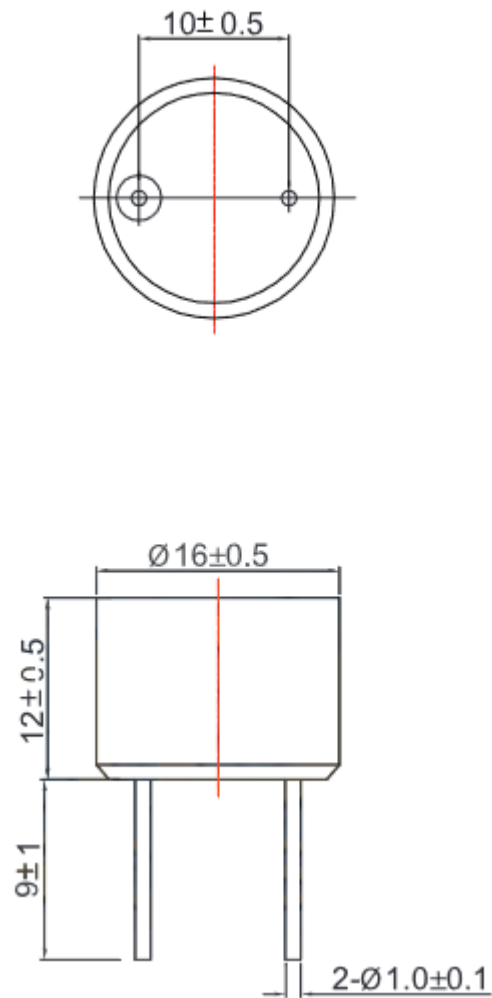


Εικόνα 16: αισθητήριο mcusd16a40s12ro ΠΗΓΗ: Farnell

Οι αισθητήρες υπερήχων (ultrasound sensors) αποτελούνται από έναν δεκτή και έναν αποστολέα, που στο πλαίσιο ηχητικών κυμάτων μπορεί να θεωρηθεί σα μεγάφωνο και μικρόφωνο. Συνήθως χρειάζεται δυο διαφορετικά είδη μορφομετατροπέων για να υπάρξει ο δέκτης και ο αποστολέας αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση ο mcusd16a40s12ro εξυπηρετεί και τις δυο περιπτώσεις. Στη πλειονότητα των κατασκευασμένων αισθητήρων υπέρηχων η λειτουργία τους γίνεται με την χρήση πιεζοηλεκτρικών κρυστάλλων. Όταν δέχονται ηλεκτρικό ρεύμα τότε μεταδίδουν ηχητικό κύμα ανάλογα με τις δυνατότητες κάθε μορφοτροπέα και την χρήση που τον θέλουμε, αντίστοιχα όταν δέχονται κύματα σε επαφή με τους κρυστάλλους παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι το ρεύμα μπορεί να μετρηθεί ώστε να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά του υπερηχητικού κύματος που έχει ληφθεί.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

4.2 Σχεδιάγραμμα και διαστάσεις αισθητήρα



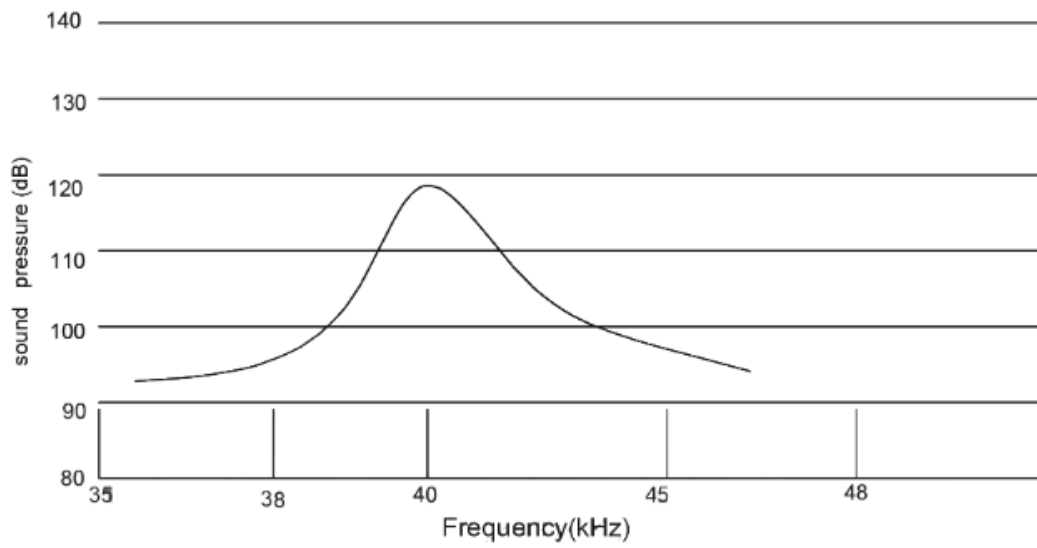
Εικόνα 17: αισθητήριο mcusd16a40s12ro, διαστάσεις ΠΗΓΗ: Farnell

Διαστάσεις αισθητήρα:

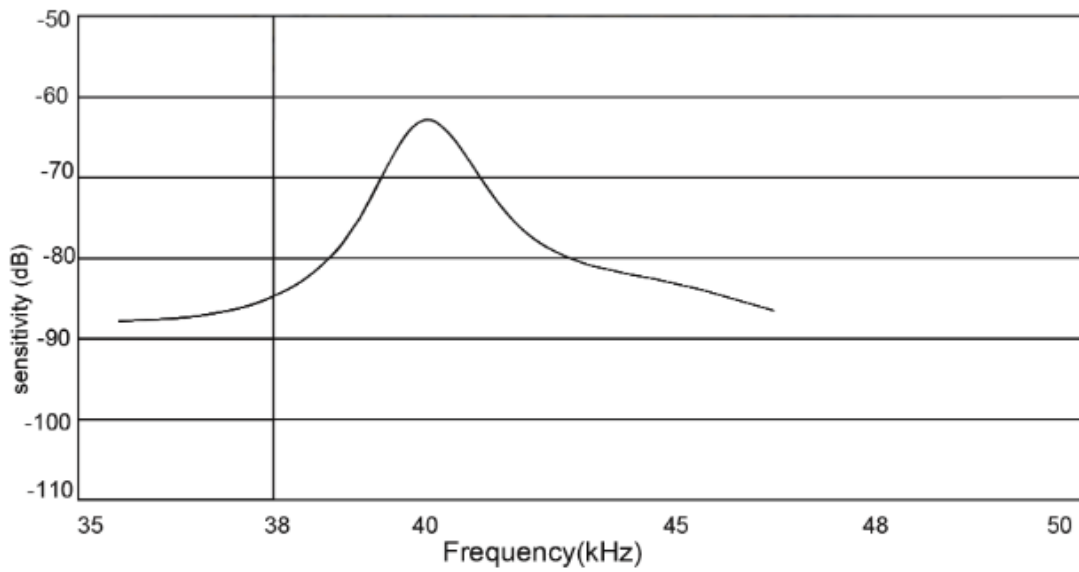
- 16mm εξωτερική διάμετρος
- 9mm ύψος ποδιού σένσορα
- 12mm ύψος σένσορα (χωρίς το ύψος ποδιού)
- 2mm διάμετρος ποδιού
- 16mm απόσταση θετικό με αρνητικό πόλο

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

4.3 Γραφήματα παλμού του αισθητήρα

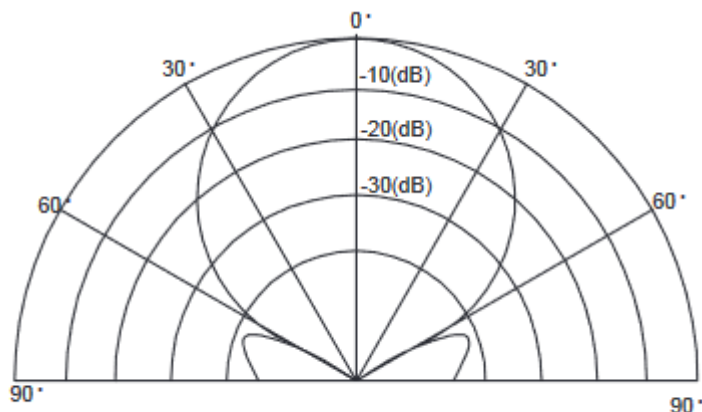


Σχεδιάγραμμα 1 πίεσης(dB)-Συχνότητας Πηγή: GILL



Σχεδιάγραμμα 2 ευαισθησίας(dB)-Συχνότητας Πηγή: GILL

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Directivity in Overall Sensitivity

Σχεδιάγραμμα 3 μοίρες ακοής Πηγή: GILL

Στη χρήση σένσορα σύμφωνα με τα datasheet παρατηρείται ότι η χρήση του γίνεται υπό γωνιά 60° μοιρών είτε δεξιά είτε αριστερά, με μεγαλύτερη ευκρίνεια στις κοντά στις 10° μοίρες δεξιά και αριστερά αντίστοιχα. Επίσης η ευαισθησία του σένσορα φτάνει στο μέγιστο της στα 40kHz όπως αντίστοιχα και η πίεση που ασκείται από τον ήχο (υπερηχητικός), ο οποίος φτάνει στο μέγιστο αντίστοιχα στα 40 kHz.

4.4 Σφάλματα και λειτουργίες σένσορα

Ο συγκεκριμένος σένσορα είναι ένας αρκετά λειτουργικός και ευχάριστος χωρίς να έχει κάποια συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα στη χρήση του. Τα σφάλματα βέβαια αυτού είναι συγκεκριμένα. Λόγω της της μικρής εμβέλειας σε μοίρες της παραγωγής του σήματος η τοποθέτηση του πρέπει να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι οι μετρήσεις που μπορείς να πάρεις από αυτόν δεν είναι αξιόπιστες. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, όπως αυτή της συγκεκριμένης πτυχιακής ή σε ρομποτικές εφαρμογές ακόμα και σε εφαρμογές ανίχνευσης αντικειμένων. Επιπλέον η χρήση του μπορεί να γίνει εύκολα μέσω ενός PWM σήματος που μπορούμε να το πάρουμε από ένα Arduino Uno κάνοντας το έτσι από τις πρώτες επιλογές για το εύρος των διαδικασιών και λειτουργιών που το χρειαζόμαστε σαν κοινί χρήστες.

Κεφάλαιο 5

5.1 Τι είναι μικροελεγκτής

Μικροελεγκτής είναι ένας τύπος επεξεργαστή ο οποίος λειτουργεί με ελαχιστότατα εξωτερικά εξαρτήματα και αυτό λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει (Arnold, Ken 2001). Χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις σε ενσωματωμένα συστήματα ή και αυτόνομα για την εύκολη εξυπηρέτηση και λειτουργία που προσφέρει. Στις εικόνες 18 και 19 παρουσιάζονται δυο μικροελεγκτές τεχνολογίας pic.



Εικόνα 18: μικροελεγκτής ΠΗΓΗ microchip



Εικόνα 19: μικροελεγκτής ΠΗΓΗ microchip

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

5.2 Τι είναι οι PIC μικροελεγκτές

Το PIC είναι μια κατηγορία μικροελεγκτών όπου κατασκευάστηκε από την Microchip Technology και ο σκοπός κατασκευής τους είναι να εξυπηρετεί έναν προγραμματιζόμενο ευφυή υπολογιστή. Δηλαδή αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία τους καλύπτει όλες τις ενέργειες που χρειάζεται μια εφαρμογή μεγάλη ή όχι. Επιπλέον μπορεί να περιέχει σύγχρονες σειριακές θύρες επικοινωνίας κάνοντάς το ικανό να λειτουργήσει σε διάυλος είτε για master είτε για slave λειτουργία.

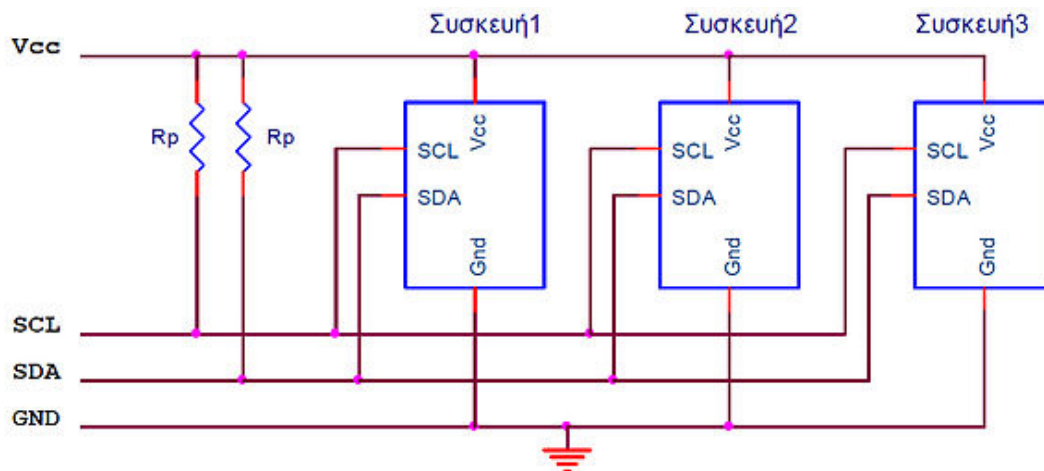
Οι μικροελεγκτές PIC έχουν μια μεγάλη οικογένεια συσκευών όπως PIC10 και PIC12, PIC16, PIC17, PIC18, PIC24 και dsPIC, Γραμμή PIC32M MIPS. Αυτό που έχει μεγάλη διαφορά είναι η οικογένεια των PIC32M για πολλούς λόγους. Μερικοί από αυτούς είναι εύκολος προγραμματισμός μέσω PICKit ή MPLAB, είναι ο πρώτος επεξεργαστής που περιέχει προσωρινή μνήμη, καλή επικοινωνία με άλλους μικροελεγκτές όπως με αυτούς που χρησιμοποιούν τα Arduino ανεξάρτητα αν χρησιμοποιείται ως master ή ως slave.

Με λίγα λόγια ο PIC32 είναι ο τύπος μικροελεγκτή που προσφέρει εύκολη χρήση σε δύσκολες εφαρμογές.

5.3 Τι είναι I²C διάυλος

Μια πρόσθετη λειτουργία μικροελεγκτών είναι η χρήση σε σύγχρονες σειριακές θήρες επικοινωνίας όπως I²C διάυλος, Ethernet. ‘‘Ο διάυλος I²C χρησιμοποιείται για την σύνδεση περιφερειακών εξαρτημάτων πάνω σε μητρικές πλακέτες για μικρές ταχύτητες όπως κινητά τηλέφωνα. Επιπλέον χρησιμοποιείται για την επικοινωνία συσκευών-εξαρτημάτων που βρίσκονται πάνω σε ένα τυπωμένο κύκλωμα PCB ή σε εφαρμογές όπου οι συσκευές συνδέονται με καλώδια’’ (Amon Shah).

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 20: Δίαυλος I2C ΠΗΓΗ Βικιπαίδεια

Στην εικόνα 20 φαίνεται ένα παράδειγμα δίαυλου I²C όπου τα SCL είναι η γραμμή ρολογιού και SDA η γραμμή δεδομένων, οι γραμμές αυτές συνδέονται σε όλες τις συσκευές πάνω στον δίαυλο I²C. Επιπλέον υπάρχει μια γείωση και μια τροφοδοσία η οποία οι ενδεικτικές τάσεις που χρησιμοποιούνται στο δίαυλο είναι στα +5 βολτ ή 3,3 βολτ.

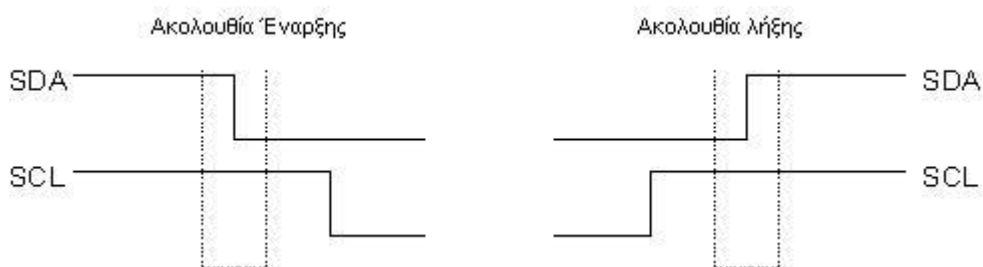
5.4 Δίαυλοι Master και Slave

Οι συσκευές σε έναν δίαυλο χωρίζονται σε masters και slaves. Η master συσκευή είναι αυτή που παράγει τους παλμούς ρολογιού (SCL), αντίστοιχα οι slave συσκευές είναι αυτές που υπακούν στις master. Πάνω σε ένα δίαυλο μπορούν να είναι πολλές συσκευές συνδεδεμένες είτε είναι master είτε είναι slave αυτό σημαίνει ότι και οι 2 μπορούν να στέλνουν δεδομένα αλλά μόνο η master ελέγχει τη μεταφορά.

Υπάρχουν δυο ακολουθίες με τις οποίες λειτουργούν οι συσκευές, αυτές είναι η ακολουθία λήξης και η ακολουθία έναρξης. Αυτές οι ακολουθίες διαφέρουν στο ότι όταν η γραμμή ρολογιού (SCL) βρίσκεται στη λογική κατάσταση 1 η γραμμή δεδομένων (SDA) μπορεί να αλλάξει. Δηλαδή μια άλλα λόγια αυτές οι ακολουθίες μα δείχνουν πότε μια

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

συσκευή slave είναι σε λειτουργία έναρξης και τότε σε λειτουργία λήξης και αυτό κατά συνέπεια για το δίαυλο σημαίνει ότι είναι απασχολημένος μετά από μια ακολουθία έναρξης και ελεύθερος μετά από μια ακολουθία λήξης. Παράδειγμα αυτής της ακολουθίας φαίνεται στην εικόνα 21.

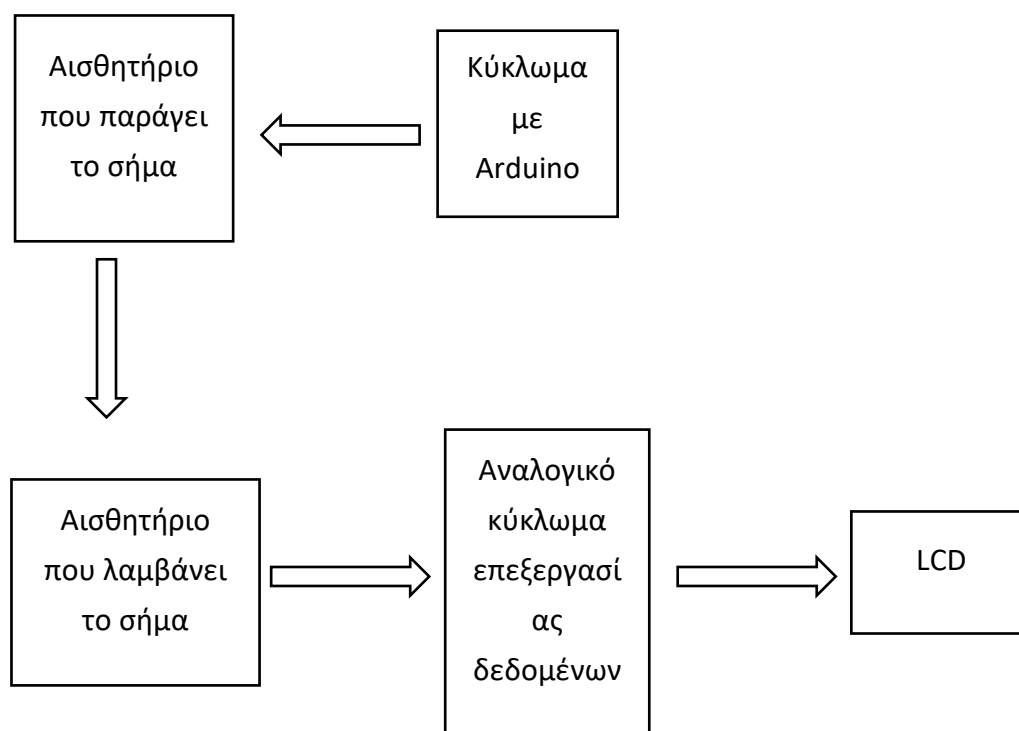


Εικόνα 21: Ακολουθίες Έναρξης Λήξης ΠΗΓΗ Βικιπαίδεια

Κεφάλαιο 6

Αναλογικό κύκλωμα

6.1 Λειτουργία αναλογικού κυκλώματος



Η ιδέα αυτής της πτυχιακής είναι η κατασκευή ενός υπερηχητικού ανεμομέτρου που να στέλνει και να λαμβάνει παλμούς και να μετρά την ώρα πτήσης έτσι θα μπορεί να υπολογισθεί η ταχύτητα του ανέμου σε μια δεδομένη διεύθυνση.

Επομένως, στέλνει έναν παλμό υπέρηχων και μετράει το χρόνο μέχρι να φτάσει στο δέκτη ο οποίος είναι τοποθετημένος σε μια απόσταση που ορίζουμε ή όχι εμείς. Συνήθως οι μορφομετατροπείς υπέρηχων λειτουργούν στα 40kHz, όπως και στη συγκεκριμένη περίπτωση. Ο μορφομετατροπέας έχει την ικανότητα να είναι και δέκτης και πομπός.

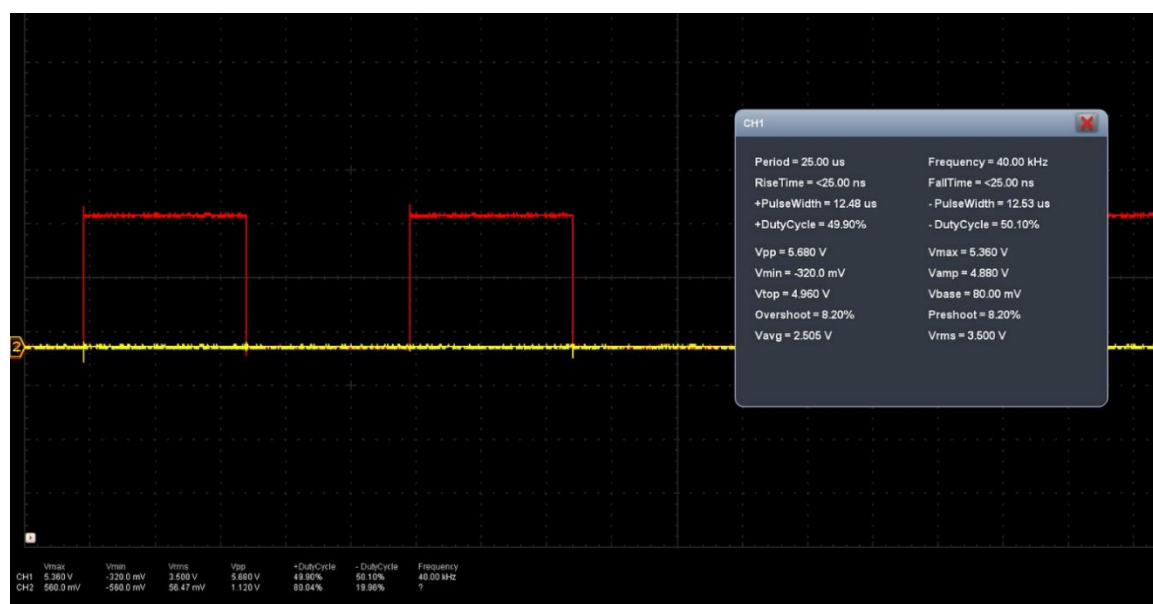
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Στα δυο διαστάσεων υπερηχητικά ανεμόμετρα (2D) έχουμε δυο ζευγάρια μορφομετατροπέων ή ακόμα και ένα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε ένα ζευγάρι μορφομετατροπέων σε ένα υπερηχητικό ανεμόμετρο δυο διαστάσεων και για λόγους ευκολίας ονομάζονται North (N) και South (S). Δηλαδή πρέπει να μπορεί να δέχεται και να στέλνει και στις δυο διευθύνσεις N->S και S->N αλλά όχι ταυτόχρονα.

Το σήμα που δίνετε είναι PWM 40kHz και παίρνετε ευκολά από το Arduino. Για να παράξει το Arduino το PWM σήμα αρκεί ένας απλός προγραμματισμός:

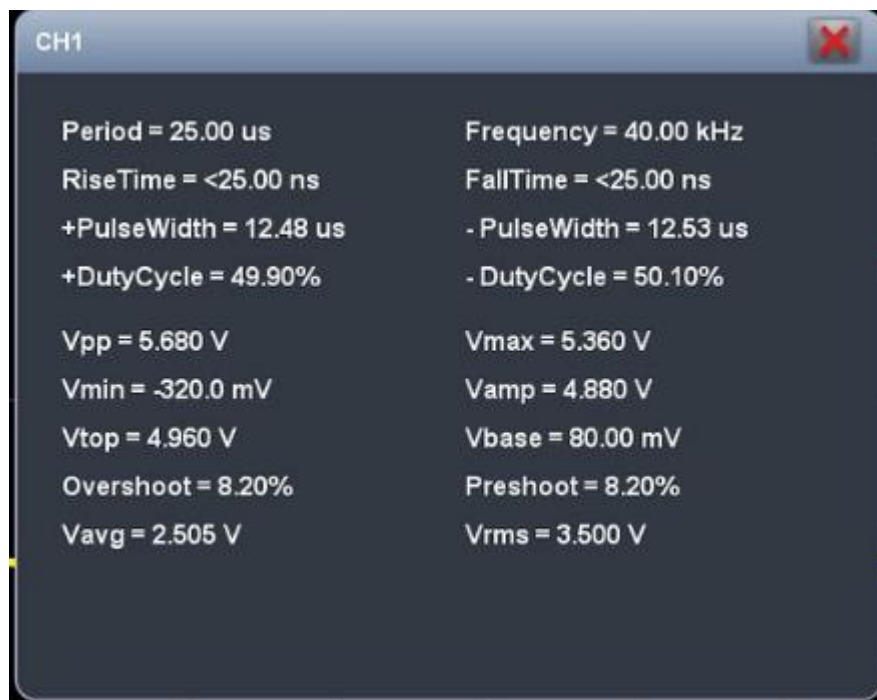
```
void setup() {  
  pinMode(5, OUTPUT);  
  pinMode(6,OUTPUT);  
  TCCR0A=0;//reset the register  
  TCCR0B=0;//reset the register  
  TCCR0A=0b01010011;  
  TCCR0B=0b00001001;  
  OCR0A=199;  
}
```

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να πάρουμε σαν έξοδο:



Εικόνα 22: τετραγωνικό σήμα 40kHz

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 23: Αναλυτική μέτρηση εξόδου Arduino

Όπως φαίνεται από τις εικόνα 22 και εικόνα 23, η έξοδος είναι στα 40kHz και το duty cycle στο 50% κάτι που χρειάζεται το συγκεκριμένο κύκλωμα για να μπορούν οι μορφομετατροπείς να λειτουργούν όσο τον δυνατόν πιο ομοιόμορφα.

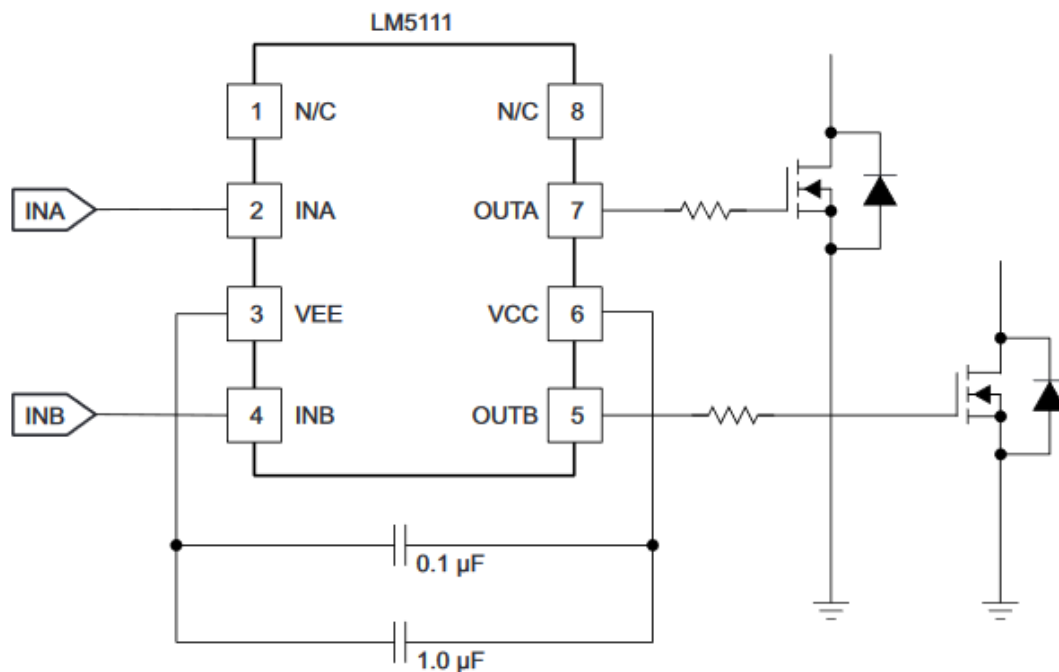
Στη συνέχεια το ένα αισθητήριο παράγει το σήμα ενώ το άλλο δέχεται το σήμα και το αντίστροφο. Έπειτα, το αναλογικό κύκλωμα υπολογίζει τα δεδομένα σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν δημιουργηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο κοντά στα αληθή. Ο μικροελεγκτής ric32 υπολογίζει τα δεδομένα και τα στέλνει στο μικροελεγκτή του Arduino που τα τοποθετεί σε πίνακες και υπολογίζει το τελικό αποτέλεσμα και στο τέλος το εμφανίζει στην LCD οθόνη.

6.1.1 12V drive

Χρησιμοποιείται ένα ζευγάρι driver LM5111 mosfet, τα οποία μπορούν να χειριστούν έως και 18V, έτσι ώστε να μπορεί να τρέξει με τάση εισόδου 12-15V, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση. Οι drivers έχουν σχεδιαστεί για να οδηγούν μεγάλα φορτία έτσι ώστε να έχουν τυπικά ισχυρές εξόδους. Συγκεκριμένα, το LM5111 έχει sink και source 5

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

και 3 αμπέρ, αντίστοιχα. Επιπλέον το LM5111 λειτουργεί με συχνότητα έως και 1000kHz οπότε δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα για την συγκεκριμένη λειτουργία. Έχουν επιπλέον την ικανότητα να δέχονται κατευθείαν ένα σήμα PWM απευθείας από κάποιον IC δίαυλο όπου είναι ότι χρειάζεται στην συγκεκριμένη περίπτωση. Τέλος το LM5111 μπορεί να διαχειριστεί 2 διαφορετικούς mosfet όπως φαίνεται στην εικόνα 24.



Εικόνα 24: LM5111 οδηγεί 2 διαφορετικά mosfets ΠΗΓΗ Texas Instruments Incorporated

6.1.2 Διακριτικοί mosfet switches

Το μειονέκτημα της χρήσης ενός driver mosfet είναι ότι δεν διαθέτουν την εύχρηστη έξοδο. Έτσι, έπρεπε να βρεθεί ένας άλλος τρόπο για να απελευθερωθούν οι μετατροπείς για το λαμβάνον σήμα. Οι άμεσα διαθέσιμοι ολοκληρωμένοι διακόπτες και πολυπλέκτες δεν έχουν το χαμηλό r_{ds-on} που χρειάζεται εδώ και σίγουρα θα φτάσουν στα όρια τους ή θα 'καούν' αν περάσει 5A (αμπέρ) μέσω αυτών. Έτσι χρησιμοποιήθηκε ένα διακριτό p-channel mosfet για κάθε μετατροπέα. Με την πύλη στα -5V, τα mosfets άγουν από 0 έως

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

12V του σήματος που οδηγείται με αντίσταση κατά πολύ κάτω από 1Ω (ohm). Έτσι, η ισχύς του LM5111 δεν χάθηκε. Με την πύλη στα + 5V το mosfet δεν είναι αγωγίμο για σήματα μερικών volt γύρω από τη γείωση. Έτσι, ο μετατροπέας που λαμβάνει το σήμα μπορεί να ταλαντεύεται ελεύθερα, χωρίς να επηρεάζεται από το LM5111.

6.1.3 Ενεργό φίλτρο υψηλής διέλευσης (op amp amplifier filters)

Ο λειτουργικός ενισχυτής ή Operational Amplifier (op amp) είναι ουσιαστικά μια συσκευή ενίσχυσης τάσης. Χρησιμοποιείται ένας διπλός ενισχυτής, συγκεκριμένα τον LMC6482. Πρόκειται για έναν ενισχυτή ακριβείας με εισόδους και εξόδους rail to rail που μπορούν να λειτουργούν από ένα μεγάλο φάσμα τάσεων τροφοδοσίας. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά για αυτή την εφαρμογή είναι ο ρυθμός κυματομορφής των 1,3 v/μs. Αυτό δεν είναι ούτε πολύ ούτε λίγο αλλά είναι που χρειάζεται για την συγκεκριμένη περίπτωση. Και αυτός είναι ο λόγος: ένα σήμα στα 40kHz με πλάτος από κορυφή σε κορυφή 10 βολτ χρειάζεται ένα μέγιστο ρυθμό θραύσης(slew rate) 1,25 V / μs. Επομένως, τα 1,3 βολτ είναι αρκετά όταν λειτουργούν από τροφοδοσία +/- 5V και επειδή είναι αρκετό, θα εμποδίσει πολύ αποτελεσματικά τον θόρυβο που μπορεί να υπάρχει στην είσοδο.

6.1.4 Ενεργό φίλτρο ζώνης-περάσματος (Active Bandpass Filter)

Σε περίπτωση που το slew rate του ενισχυτή δεν είναι αρκετό για να πάρει ένα καθαρό σήμα εξόδου, χρησιμοποιείται ένας δεύτερος ενισχυτής από το διπλό LMC6482 για ένα ενεργό φίλτρο ζώνης. Το ενεργό φίλτρο ζώνης χρησιμοποιείται ώστε να εξασθενεί όποιες συχνότητες υπάρχουν πάνω ή κάτω από αυτές που θέλουμε. Η βασική λειτουργία του είναι το φίλτρο υψηλής ζώνης και χαμηλής ζώνης να αποδίδει όλο το κέρδος της τάσης του κυκλώματος. Συνήθως αυτά τα φίλτρα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου χρειάζεται να επικοινωνήσουν δυο σήματα και ο πομπός πρέπει να ξεχωρίζει από τον δέκτη.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

6.1.5 Σήμα μέσω των 74HC4052 Dual 4-Channel Multiplexer

Το πρώτο μισό του πολυπλέκτη μετάδοσης παίρνει το σήμα PWM από τον μικροελεγκτή και το στέλνει στον σωστό οδηγό mosfet σύμφωνα με τα σήματα άξονα (axis) και κατεύθυνσης (direction) που ελέγχουν ποιος μετατροπέας στέλνει και λαμβάνει. Το δεύτερο μισό αυτού του IC απελευθερώνει τον μετατροπέα λήψης που βρίσκεται απέναντι από το μεταδιδόμενο. Αυτό γίνεται με την παροχή +5V στο αντίστοιχο p-channel mosfet. Οι αντιστάσεις έλξης (pull down) προς την ράγα(rail) -5V διασφαλίζουν ότι τα mosfet άγουν όταν δεν είναι ενεργά απενεργοποιημένα. Για τον δεύτερο multiplexer, το πρώτο μισό του πολυπλέκτη λήψης κατευθύνει το σήμα από τον μετατροπέα λήψης στην είσοδο του ενισχυτή. Υπάρχουν 10k αντιστάσεις pull-down στους μορφομετατροπείς έτσι ώστε το λαμβανόμενο σήμα να γειώνεται. Προκειμένου να αποφευχθεί το cross talk, το δεύτερο μισό του IC1 γειώνει το μεταδιδόμενο σήμα. Για να γίνει αυτό δυνατό, υπάρχουν 10k αντιστάσεις πριν από τον πολυπλέκτη.

6.1.6 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (power supply)

Το κύκλωμα χρειάζεται τάση εισόδου από 12V έως 15V που χρησιμοποιείται για τα mosfet. Για όλα τα άλλα, ένας γραμμικός ρυθμιστής(linear regulator) δημιουργεί μια +5V τάση (rail). Ένα ICL7660 αναστρέφει αυτή την τάση για να δημιουργήσει μια τάση (rail) -5V. Οι πολυπλέκτες και ο ενισχυτής λειτουργούν κατόπιν από αυτήν την παροχή +/- 5V. Αυτό μας δίνει μια πολύ ισχυρότερη μετάδοση σήματος 12V με 15V στους μετατροπείς.

6.1.7 Λειτουργία προγραμματισμού και διαγράμματα ροής

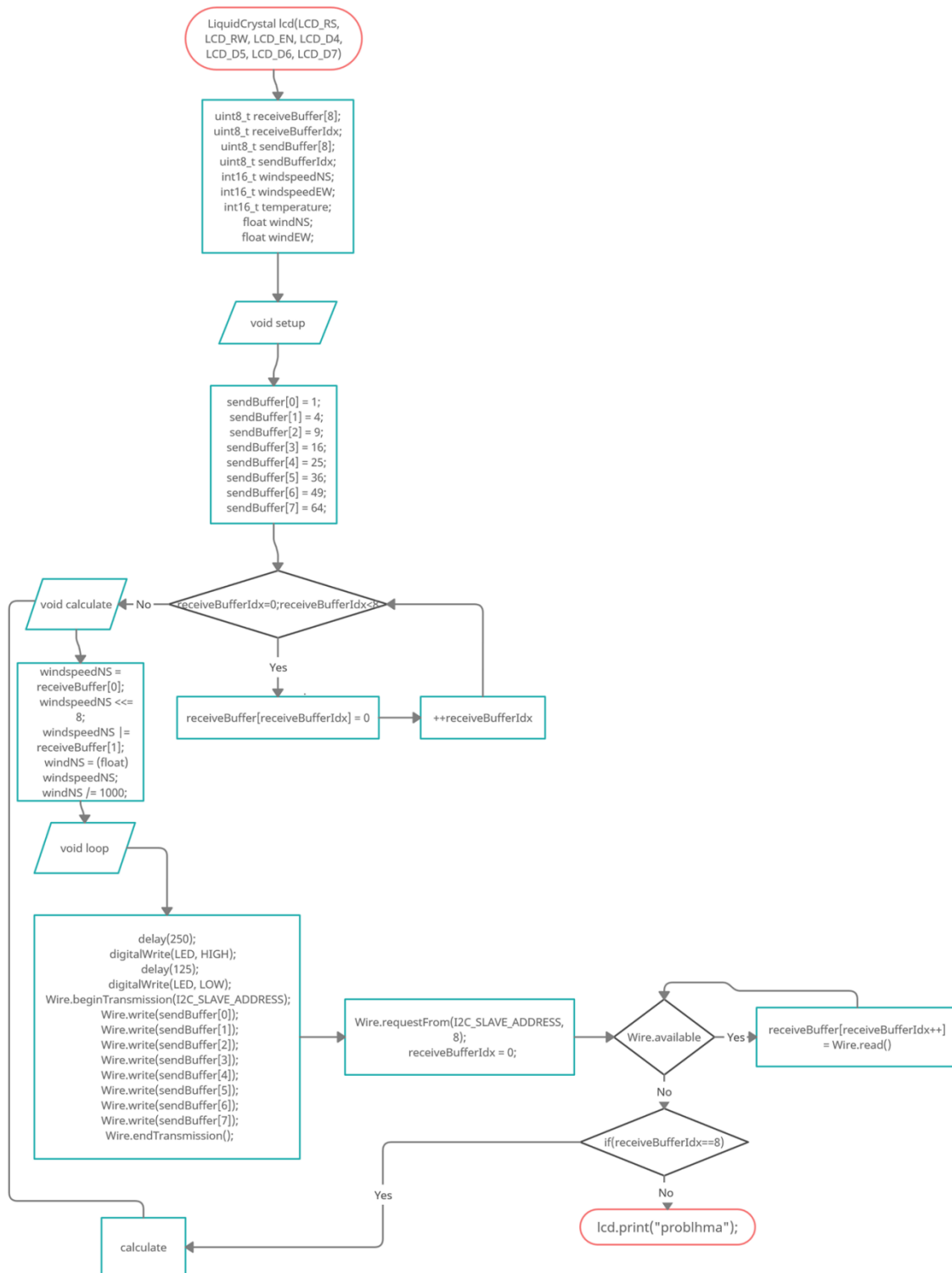
Το κύκλωμα μας χρησιμοποιεί έναν PIC32M σαν slave. Ο slave έχει την δυνατότητα να μπορεί να κρατάει τα στοιχεία και να υπολογίζει το αποτέλεσμα. Ο προγραμματισμός του έγινε με κώδικα C++ και υπάρχει ήδη έτοιμο για χρήση σε ιστότοπους. Ο κώδικας αυτός έχει φτιαχτεί και ανέβει στο ίντερνετ για να μην υπάρχουν λάθη υπολογισμού και

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

αυτό γιατί χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο ISO ώστε οι υπολογισμοί να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα επιθυμητά αποτελέσματα. Η εντολή calculate υπολογίζει τα δεδομένα που συλλέγει από τον συλλέκτη και έπειτα με την βοήθειά του master και των πινάκων που έχουμε δημιουργήσει παίρνουμε τα αποτελέσματα μας. Όσον αφορά το zero crossing, ο κώδικας του slave τους κόβει ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση δεδομένων. Επιπλέον ο master συνδέεται από τις ακίδες A4 και A5 στον slave στις ακίδες του SDA (γραμμή δεδομένων) και SCL (γραμμή ρολογιού) αντίστοιχα στον slave. Έτσι καταφέρνει να πάρει το PWM σήμα για του αισθητήρες. Το κύκλωμα μας συλλέγει πληροφορίες (data) από τους αισθητήρες. Τα pin (ακίδες) που λαμβάνουν τις πληροφορίες είναι τα 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64. Η επικοινωνία ξεκινάει στη διεύθυνση 0x51 όπου οι αριθμοί που αναφέραμε παραπάνω στέλνονται από το `i2c_slave_address`. Η σύνδεση αυτή κόβεται στα 200msec. Το κύκλωμα όταν λαμβάνει τις τιμές προσθέτει συν 1 (+1) στο πίνακα που φτιάξαμε τον ReceiveBuffer ο οποίος έχει αρχικοποιηθεί στη θέση μηδέν. Μόλις τελειώσει δηλαδή το γράψιμο (write) ο πίνακας είναι μη διαθέσιμος. Τότε καλεί την εντολή calculate όπου υπολογίζει την ταχύτητα του ανέμου. Δηλαδή στην αρχή προσθέτει οχτώ μηδενικά σε περίπτωση που η μέτρηση μας είναι αδρανείς οπότε η ταύτα είναι μηδέν. Αν δεν ισχύει αυτό αντιστρέφει τα οχτώ μηδενικά παίρνοντας τη θέση ένα από τον πίνακα και τα διαιρεί με το χίλια. Έπειτα εμφανίζεται στην LCD οθόνη μας το αποτέλεσμα. Για την διεκπεραίωση του προγραμματισμού και των διαγραμμάτων ροής δέχθηκα βοήθεια από τον MSC electronic engineering κ. Γιώργο Μαρούδα. Τα διαγράμματά ροής δημιουργήθηκαν στο Creately, όπου είναι μια online software πλατφόρμα όπου γίνεται η σχεδίαση διαγραμμάτων ροής πολύ εύκολα και γρήγορα.

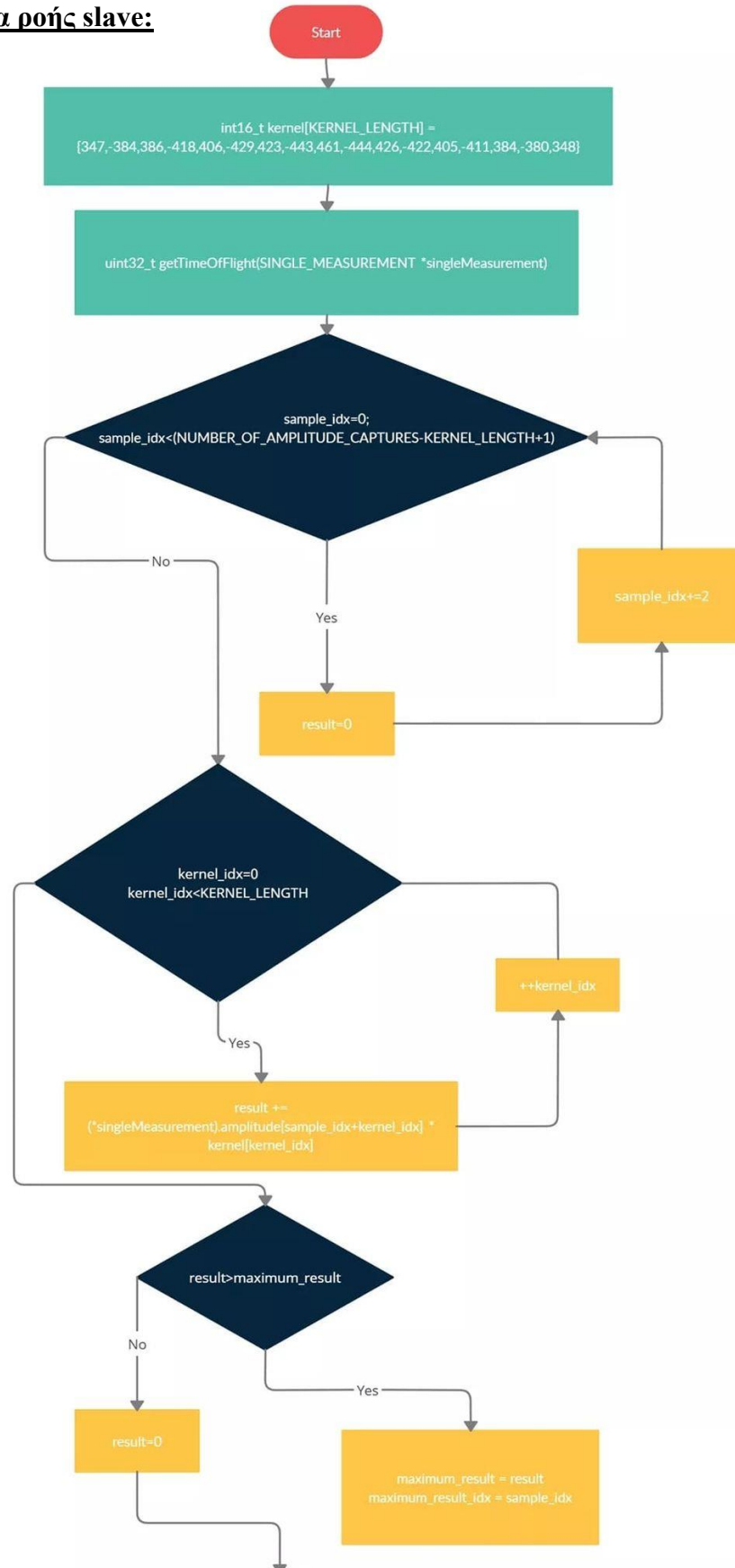
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Διάγραμμα ροής master:

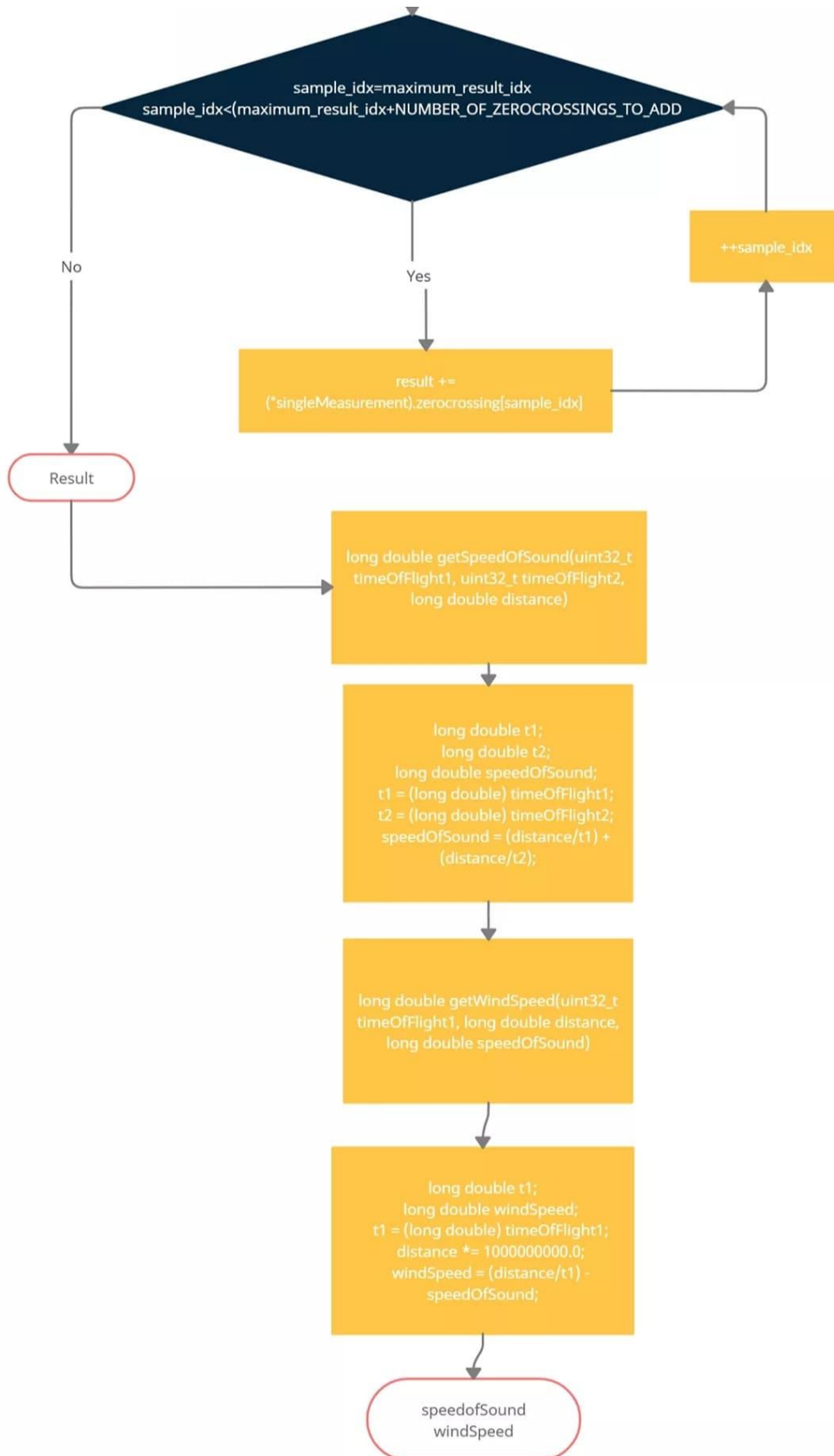


ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Διάγραμμα ροής slave:



ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

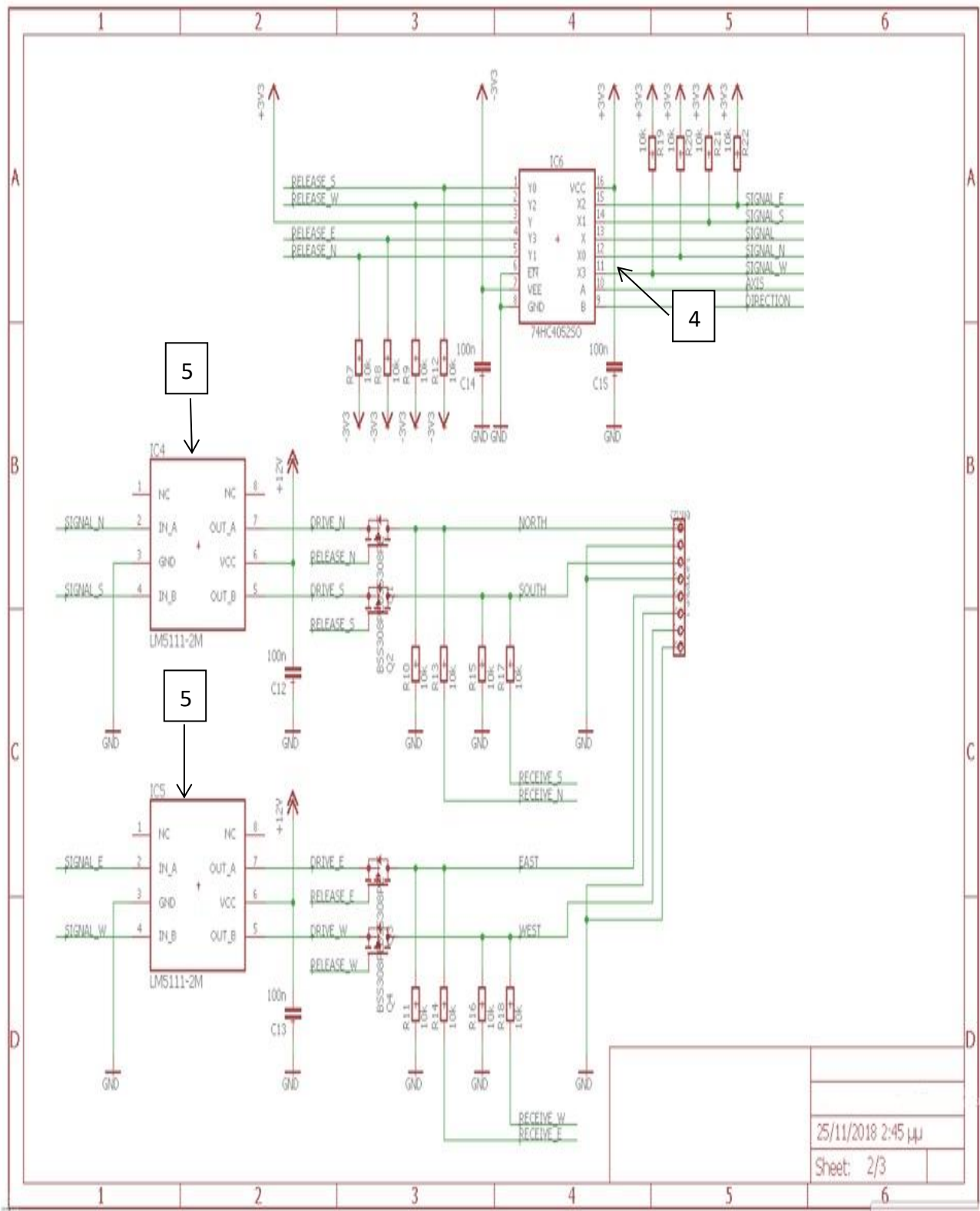
6.2 Με λίγα λόγια

Το κύκλωμα διαθέτει 2 μετατροπείς. Σε κάθε χρονική στιγμή ο ένας από αυτούς θα εκπέμπει, ενώ ο άλλος θα ακούσει και θα λάβει το σήμα. Το σήμα που πρόκειται να αποσταλεί είναι μια σειρά παλμών PWM με συχνότητα από 38 έως 40 kHz(λόγο το εύρος συχνότητας που μπορούν να καλύψουν οι συγκεκριμένοι αισθητήρες). Αυτό το σήμα θα έρθει από το Arduino, το κύκλωμα οδηγεί το σήμα στους αισθητήρες και χρησιμοποιεί το PIC32 ως slave για να συλλέγει τα στοιχεία ενώ ο μικροελεγκτής του Arduino χρησιμοποιείται ως master για να υπολογίζει τα στοιχεία αυτά. Ο λόγος που χρησιμοποιήσα το PIC32 είναι ότι μπορεί να επικοινωνεί με το μικροελεγκτή του Arduino με μερικό προγραμματισμό(όπου υπάρχει με συγκεκριμένο ISO για αποφυγή σφαλμάτων), το μειονέκτημα του είναι η έλλειψη μνήμης γι' αυτό χρησιμοποιήσα μια ξεχωριστή EEPROM μνήμη. Για τον ανιχνευτή λήψης, ένα πόδι πρέπει να γειωθεί, ενώ το άλλο πρέπει να πάρει τάση. Το σήμα σε αυτό το πόδι είναι αυτό που λαμβάνουμε. Έτσι αυτό το σήμα που λαμβάνεται πρέπει να δρομολογηθεί στο αναλογικό τμήμα του κυκλώματος όπου θα ενισχυθεί.

Στο σχηματικό χρησιμοποιείται ένα usb για να τροφοδοτήσει το PIC32 το οποίο τελικά δεν χρειάστηκε. Αυτό γιατί ο ενισχυτής εξακολουθεί να χρησιμοποιεί έναν ενισχυτή LMC6482 dual op, ο οποίος λειτουργεί με τροφοδοσία +/- 3.3 volt. Το οποίο τροφοδοτεί και το PIC32.

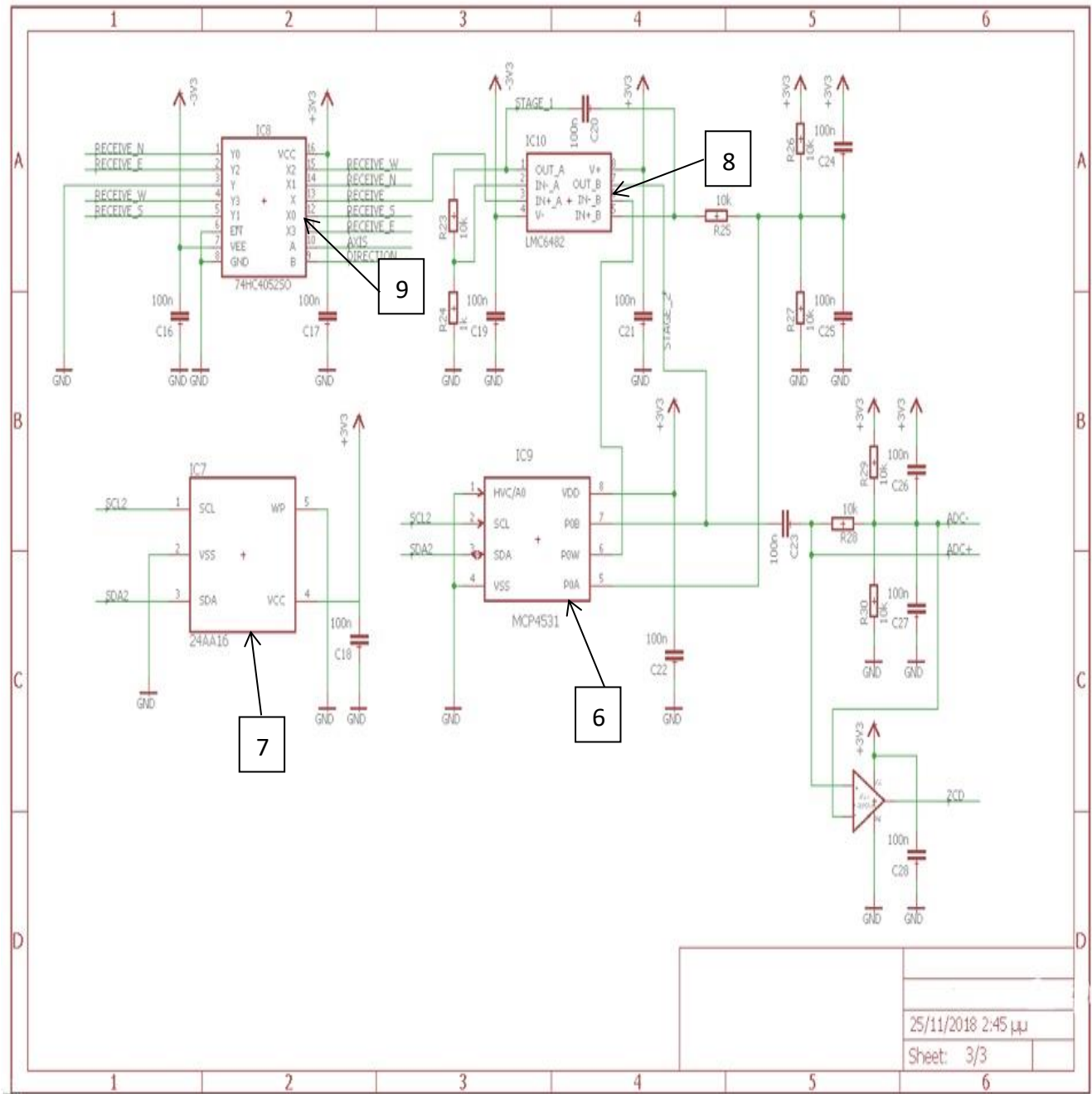
Χρησιμοποιείται ένας γραμμικός ρυθμιστής MCP1755 3,3V με πυκνωτή τανταλίου μεγέθους 33uF στην είσοδο του και ένας κεραμικός πυκνωτής μεγέθους 10uF στην έξοδο. Ένα TCM829 και άλλους δυο πυκνωτές 10uF, έτσι υπάρχει η απόδοση των -3,3 volts. Παρέχοντας συνολικά τρεις τροφοδοσίες: + 12V, + 3.3V και -3.3V. Τα αποτελέσματα που δίνονται είναι σε milliseconds (msec).

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 26: σχηματικό αναλογικού κυκλώματος

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 27: σχηματικό αναλογικού κυκλώματος

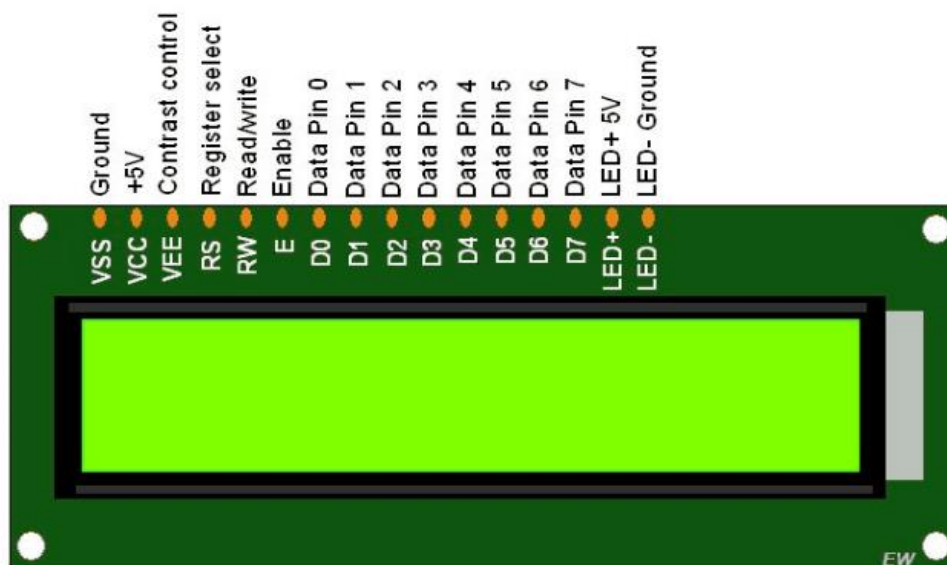
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Επιμέρους στοιχεία αναλογικού κυκλώματος:

1. Microcontroller PIC32MX250F128B-I/SO (IC2)
2. Voltage Inverter / Charge Pump TCM829ECT713 (IC3)
3. Linear Voltage Regulator LD1117S33CTR (IC1)
4. Dual 4:1 multiplexer/demultiplexer 74HC4052D (IC6)
5. Dual MOSFET driver LM5111-2M/NOPB (IC4, IC5)
6. Digital POT 10kOhms MCP4531-103E/MS (IC9)
7. EEPROM 16Kbit 24AA16T-I/OT (IC7)
8. Dual Operational Amplifier LMC6482IM/NOPB (IC10)
9. Dual 4:1 multiplexer/demultiplexer 74HC4052D (IC8)

Πρέπει να σημειωθεί ότι το Arduino στο σχηματικό συνδέεται στην ακίδα 18 και 17 όπου στην ακίδα 18 βρίσκεται το SDA (γραμμή δεδομένων) και στην ακίδα 17 βρίσκεται το SCL (γραμμή ρολογιού).

Αντίστοιχα το Arduino συνδέεται στην οθόνη LCD.



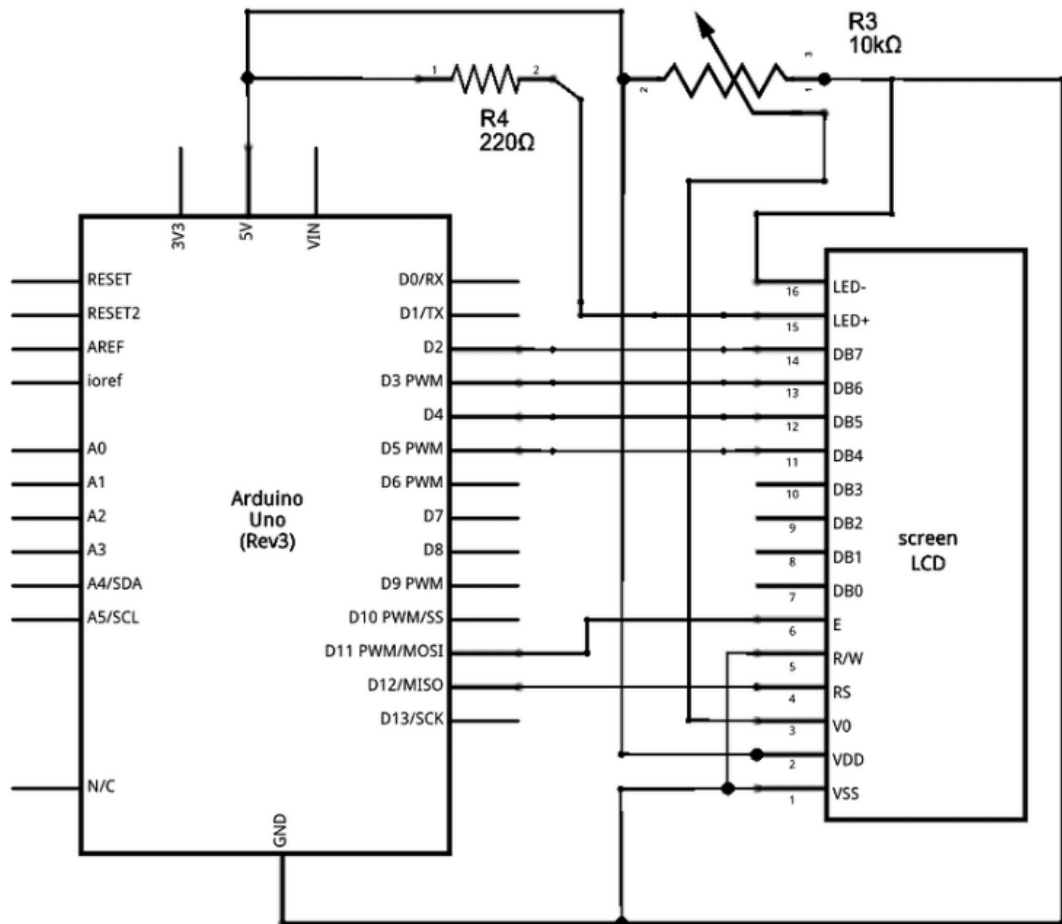
Εικόνα 28: LCD οθόνη ΠΗΓΗ Arduino

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Οι οθόνες LCD (Liquid Crystal Displays) χρησιμοποιούνται σε ενσωματωμένες εφαρμογές συστήματος για την εμφάνιση διαφόρων παραμέτρων και κατάστασης του συστήματος.

Η LCD 16x2 είναι μια συσκευή 16 ακίδων που έχει 2 σειρές που μπορούν να φιλοξενήσουν 16 χαρακτήρες το καθένα. Η οθόνη LCD 16x2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργία 4-bit ή 8-bit. Είναι επίσης δυνατή η δημιουργία προσαρμοσμένων χαρακτήρων. Διαθέτει 8 γραμμές δεδομένων και 3 γραμμές ελέγχου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς ελέγχου.

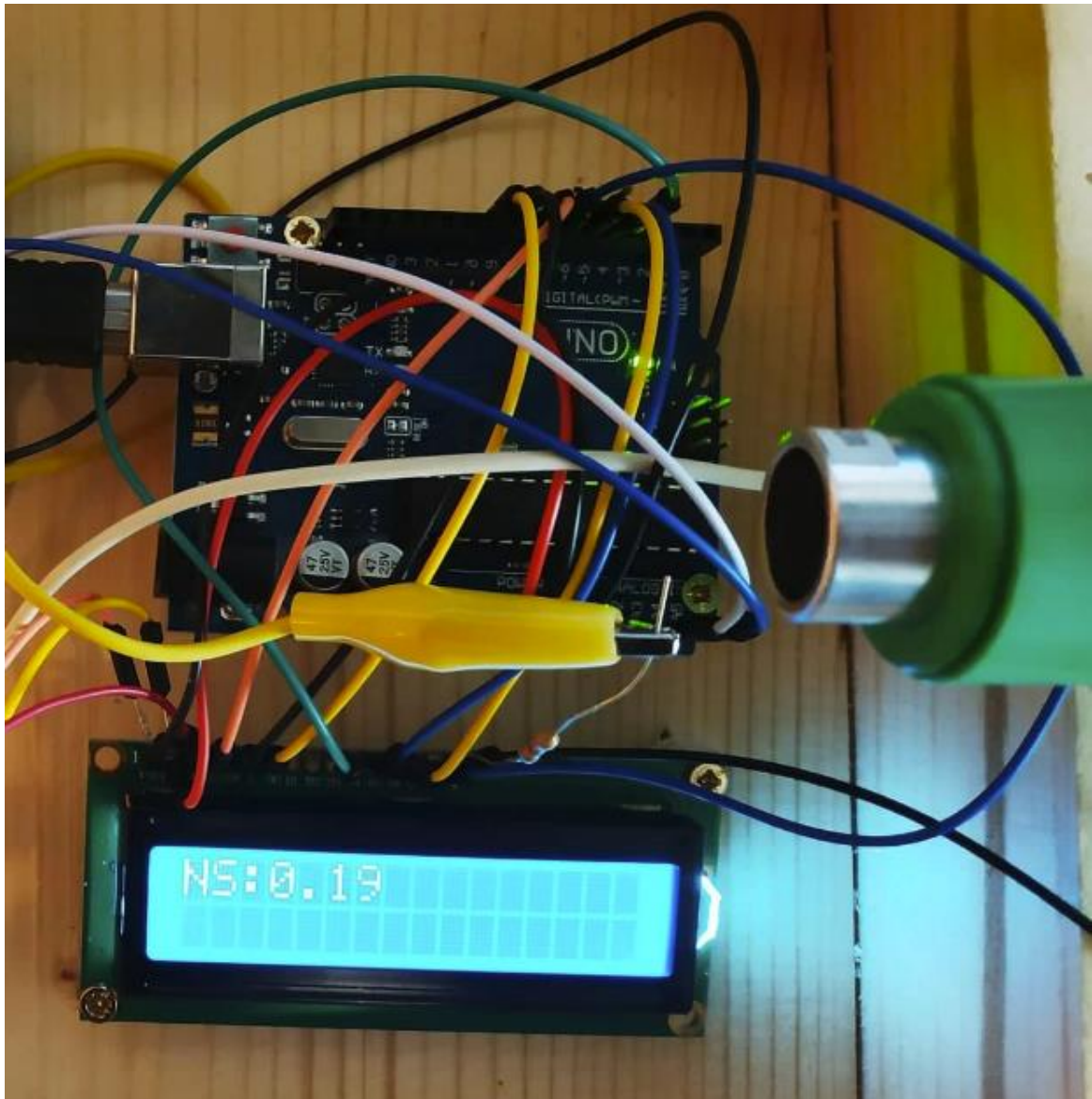
Τέλος ένα ποτενσιόμετρο 10KΩ (kiloohm) μπορεί να συνδεθεί στη τροφοδοσία +5 βολτ και την γείωση για τον έλεγχο φωτεινότητας της οθόνης.



Εικόνα 29: σχηματικό σύνδεσης Arduino με LCD οθόνη ΠΗΓΗ Arduino

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

6.5 Μετρήσεις υπερηχητικού ανεμομέτρου



Εικόνα 30: Μέτρηση με crosstalk

Η πρώτη μέτρηση που έγινε στο αναλογικό κύκλωμα πραγματοποιήθηκε χωρίς τον προγραμματισμό του PIC32M, αυτό έχει ως αποτέλεσμα απλά να χρησιμοποιείται σαν αποθήκη λόγω της μνήμης που και τις εξτρά EEPROM μνήμης που υπήρχε.

Αυτό συνέβη λόγω του crosstalk των αισθητήρων, δηλαδή την ίδια στιγμή που έστειλε ο ένας, έστειλε και ο άλλος και η μέτρηση παίρνονταν από αυτόν που προλάβαινε να

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

στείλει πρώτος. Αυτό δεν είναι απαραίτητα λάθος, διότι μπορεί να ήταν το αποτέλεσμα που θέλαμε να πάρουμε.

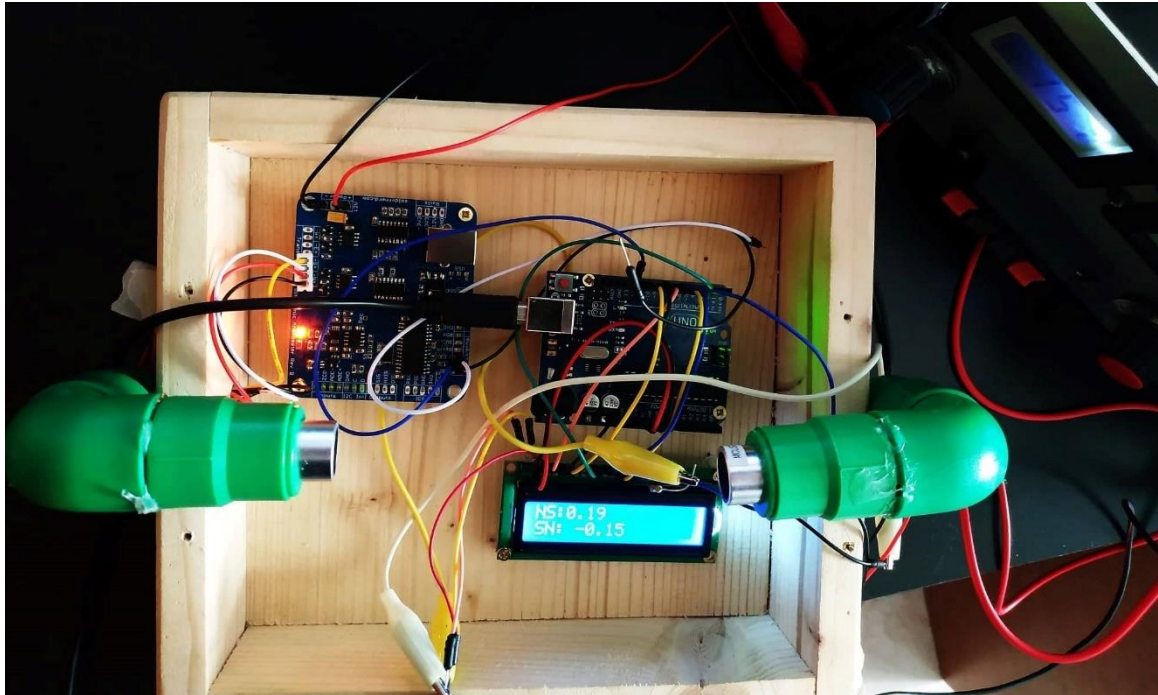
Για να διορθωθεί αυτό το “λάθος”, χρειάστηκε να προγραμματιστεί ο PIC32M από ένα PICKit και αυτό γιατί ήταν η πιο εύκολη λύση. Ο προγραμματισμός του PIC32M (I2C) έγινε με έτοιμο κώδικα ο οποίος υπάρχει στις σελίδες μεγάλων εταιρειών όπως της GILL και SATA διότι παρέχουν τις παραμέτρους για να αποδεχθούν τα crosstalk αισθητήρων υπέρηχων.



Εικόνα 31: μέτρηση χωρίς crosstalk

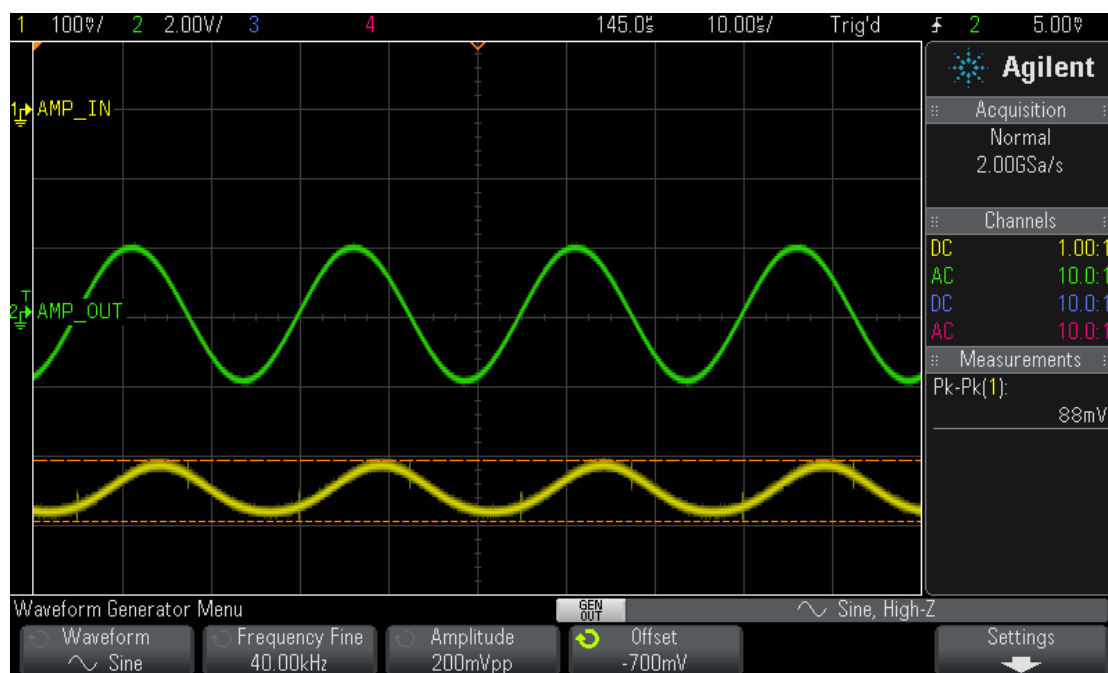
ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Με τον προγραμματισμό του PIC32M το πρόβλημα λύθηκε και πλέον οι μετρήσεις είναι ξεκάθαρες. Η διαφορά είναι ότι το μείον (-) δηλώνει απλά την αντίθετη φορά διεύθυνσης του ανέμου είτε προέρχεται από φυσικά αίτια (π.χ. άνεμος) είτε από τεχνητά (π.χ. πιστολάκι μαλλιών).



Εικόνα 32: Λειτουργικό ανεμόμετρο υπέρηχων

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ



Εικόνα 33: πομπός και δέκτης

Στην εικόνα 35 έχουμε το σήμα μας στα 40kHz. Το πράσινο σήμα είναι όταν ο ένας αισθητήρας στέλνει το σήμα και με κίτρινο όταν ο άλλος δέχεται το σήμα. Το βασικό σε αυτή την εικόνα είναι η συχνότητα, διότι αν δεν υπήρχαν τα 40kHz πολύ πιθανό να μην υπήρχαν μετρήσεις. Τα spikes (μικρές ακίδες) που παρατηρούμε στο κίτρινο σήμα είναι ο θόρυβος που μπορεί να υπάρχει είτε γιατί ο αισθητήρας που δέχεται το σήμα δεν είναι σωστά τοποθετημένος απέναντι από τον αισθητήρα που στέλνει το σήμα, είτε γιατί μπορεί να υπάρχει μερική στατική τριβή μεταξύ των smd υλικών.

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

6.5.1 Μετρήσεις αναλογικού κυκλώματος

	N->S	S->N
Μετρήσεις που προήλθαν από τεχνητό άνεμο ή φυσικό	0.19 msec	-0.15 msec
	3.22 msec	-2.97 msec
	4.15 msec	-3.87 msec
	5.01 msec	-4.45 msec
	6.28 msec	-6.03 msec
	7.5 msec	-6.89 msec
	8 msec	-7.89 msec
	8.89 msec	-8.21 msec
	9 msec	-8.35 msec
	8.98 msec	-8.26 msec

Πίνακας 3

	N->S	S->N
Μετρήσεις που προήλθαν από τεχνητό άνεμο ή φυσικό	-0.11 msec	0.17 msec
	-2.22 msec	3.64 msec
	-3.15 msec	4.57 msec
	-5.01 msec	6.45 msec
	-7.28 msec	8.03 msec
	-7.89 msec	8.45 msec
	-8.1 msec	9.02 msec
	-8,26 msec	9 msec
	- 8.20 msec	9.12 msec
	-8.26 msec	9.13 msec
	-8.11 msec	8.95 msec

Πίνακας 4

Οι μετρήσεις αυτές που πήραμε στον πίνακά 3 και πίνακά 4 είναι μετρήσεις που προήλθαν από τεχνητό (πιστολάκι μαλλιών) ή φυσικό άνεμο. Στο πίνακα 3 έχουμε μετρήσεις από τον βορρά προς νότο και στο πίνακα 4 από νότο προς βορρά.

6.5.2 Συμπέρασμα μετρήσεων

Στα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρούμε ότι, οι μετρήσεις δεν υπερβαίνουν την ταχύτητα των 9msec. Παράγοντας αυτού είναι πως οι μετρήσεις που προήλθαν από άνεμο είτε από τεχνητά μέσα (π.χ. πιστολάκι μαλλιών) είτε από φυσικά μέσα έχουν απόκλιση. Αυτό συμβαίνει διότι η εναλλαγή ταχύτητας του ανέμου είναι αρκετά γρήγορη και στις δύο περιπτώσεις για να προλάβει το κύκλωμα να υπολογίσει τα νέα δεδομένα τόσο γρήγορα. Δηλαδή για να δοκιμαστεί σωστά το συγκεκριμένο αναλογικό κύκλωμα θα πρέπει ιδανικά ο άνεμος να έχει σταθερή ταχύτητα πάνω από δυο δευτερόλεπτα, λόγω του μικροελεγκτή που χρειάζεται λίγο χρόνο να επεξεργαστεί τα δεδομένα.

Επιπλέον ένας άλλος παράγοντας που εμποδίζει τον υπολογισμό των δεδομένων και "καθυστερεί" το αναλογικό κύκλωμα να μας δώσει γρήγορα την πληροφορία της ταχύτητας του ανέμου, είναι ότι οι αισθητήρες δεν είναι τοποθετημένοι εργοστασιακά απέναντι ο ένας στον άλλο. Δημιουργώντας έτσι αυτή την απόκλιση.

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

6.6 Υλικά αναλογικού κυκλώματος

ποσότητα	Περιγραφή	Τιμή	Κωδικός	Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ονομασίες
1	LED	orange	0805, metric 2012	Kinbright	KP-2012SECK	LED1
2	Ceramic capacitor	18pF, 50V, NPO	0805, metric 2012	Multicomp	MC0805N180J500CT	C1, C2
21	Ceramic capacitor	100nF, 50V, X7R	0805, metric 2012	Multicomp	MC0805B104K500CT	C4, C5, C9, C10, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28
4	Ceramic capacitor	10uF, 6.3V, X7R	0805, metric 2012	Multicomp	MC0805B106K6R3CT	C6, C7, C8, C11
1	Tantalum capacitor	33uF, 16V	Case B	AVX	TPS8336K016R0350	C3
1	Resistor	330Ohms	0805, metric 2012	Multicomp	MC01W08051330R	R4
29	Resistor	10kOhms	0805, metric 2012	Multicomp	MC01W0805110K	R1, R2, R3, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R25, R26, R27, R28, R29, R30
2	Dual 4:1 multiplexer/demultiplexer	74HC4052	SOIC16	NXP	74HC4052D	IC6, IC8
1	Crystal	8MHz	5mm x 3.2mm	Abracon	ABM3-8.000MHZ-D2V-T	X1
4	P-channel MOSFET	n/a	SOT23	Infineon	BSS308PHEH6327	Q1, Q2, Q3, Q4
2	Dual MOSFET driver	n/a	SOIC8	Texas Instruments	LM5111-2M/NOPB	IC4, IC5
1	Dual Operational Amplifier	n/a	SOIC8	Texas Instruments	LMC6482IM/NOPB	IC10
1	Linear Voltage Regulator	3.3V	SOT23	STMicroelectronics	LD1117S33CTR	IC1
1	Voltage Inverter / Charge Pump	TCM829	SOT23-5	Microchip	TCM829ECT713	IC3
1	Digital POT	10kOhms	MSOP	Microchip	MCP4531-103E/MS	IC9
1	EEPROM	16Kbit	SOT23-5	Microchip	24AA16T-I/OT	IC7
1	Comparator	n/a	SOT23-5	Microchip	MCP6561RT-E/OT	IC11
1	Microcontroller	n/a	SOIC28 Wide	Microchip	PIC32MK250F128B-I/SO	IC2
1	Type B USB 2.0 Connector	n/a	USB B	Multicomp	USB-B-S-PA	CON4
1	Schottky Diode	30V, 200mA	SOD323	On Semiconductor	BAT54HT1G	D1
1	LCD Display 16x2 Module HD44780					
2	Transducers	20-40kHz	16mm	Multicomp	MCUSD16A40S12R0	

Τασος



ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

6.7 Συμπέρασμα

Η επίτευξη της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ήταν αρκετά δύσκολη με αρκετά σφάλματα τις περισσότερες φορές. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω έλλειψης σωστών εξαρτημάτων και χώρου υλοποίησης και κατασκευής. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι ικανοποιητικά και αρκετά κοντά στα αποτελέσματα ενός υπερηχητικού ανεμομέτρου ακριβείας. Δεν παίρνει όμως αποτελέσματα πέρα από κάποια microseconds και αυτό λόγω κακής κατασκευής των μορφομετατροπών. Λόγω έλλειψης αντιστατικής αποθήκευσης τα υλικά smd μετά από κάποιο χρονικό διάστημα δεν ήταν το ίδιο αποτελεσματικά σε σχέση με την πρώτη σωστή λειτουργία του κυκλώματος προκαλώντας πρόβλημα στη μέτρηση.

Επίσης υπάρχει χώρος για μελλοντικές βελτιώσεις. Όπως για παράδειγμα ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή χωρίς την παρουσία του Arduino, η απομάκρυνση της θύρας usb (αφού τελικά δε χρειάστηκε πιάνει περιττό χώρο) και η αγορά μεγαλύτερης ακριβείας μορφομετατροπών. Τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραπάνω μορφομετατροπείς από έναν σε κάθε αγωγό αυτό θα έχει το αποτέλεσμα στη μέτρηση μειώνοντας το σφάλμα τροχιάς του ανέμου. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί και η βελτίωση της ακρίβειας με την οποία το κύκλωμα μας θα υπολογίζει την εναλλαγή της ταχύτητας του ανέμου όσο γρήγορη και αν είναι αυτή.

Παράρτημα

Προγραμματισμός master και slave

Προγραμματισμός master:

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#define LED 13
#define LCD_RS 8
#define LCD_RW 9
#define LCD_EN 10
#define LCD_D7 7
#define LCD_D6 6
#define LCD_D5 5
#define LCD_D4 4
LiquidCrystal lcd(LCD_RS, LCD_RW, LCD_EN, LCD_D4, LCD_D5, LCD_D6,
LCD_D7);

#define I2C_SDA A4
#define I2C_SCL A5
#define I2C_SLAVE_ADDRESS 0x51

uint8_t receiveBuffer[8];
uint8_t receiveBufferIdx;
uint8_t sendBuffer[8];
uint8_t sendBufferIdx;
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
int16_t windspeedNS;
int16_t windspeedSN;
float windNS;
float windSN;

void setup()
{
    delay(200);

    sendBuffer[0] = 1;
    sendBuffer[1] = 4;
    sendBuffer[2] = 9;
    sendBuffer[3] = 16;
    sendBuffer[4] = 25;
    sendBuffer[5] = 36;
    sendBuffer[6] = 49;
    sendBuffer[7] = 64;

    pinMode(LED, OUTPUT);

    /*
    * Configure LCD display
    * Print startup message
    */

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
lcd.print("Geia");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("NeedpowerSup");

/*
 * Configure I2C
 */

Wire.begin();

for(receiveBufferIdx=0;receiveBufferIdx<8;++receiveBufferIdx)
{
    receiveBuffer[receiveBufferIdx] = 0;
}

}

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

void calculate()
{
    //Wind speed North to South
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
windspeedNS = receiveBuffer[0];  
windspeedNS <<= 8;  
windspeedNS |= receiveBuffer[1];  
windNS = (float) windspeedNS;  
windNS /= 1000;  
  
void loop()  
{  
  delay(250);  
  
  digitalWrite(LED, HIGH);  
  delay(125);  
  digitalWrite(LED, LOW);  
  
  Wire.beginTransmission(I2C_SLAVE_ADDRESS);  
  Wire.write(sendBuffer[0]);  
  Wire.write(sendBuffer[1]);  
  Wire.write(sendBuffer[2]);  
  Wire.write(sendBuffer[3]);  
  Wire.write(sendBuffer[4]);  
  Wire.write(sendBuffer[5]);  
  Wire.write(sendBuffer[6]);  
  Wire.write(sendBuffer[7]);  
  Wire.endTransmission();  
  
  delay(10);
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
Wire.requestFrom(I2C_SLAVE_ADDRESS, 8);
receiveBufferIdx = 0;
while (Wire.available())
{
    receiveBuffer[receiveBufferIdx++] = Wire.read();
}
digitalWrite(LED, LOW);

if(receiveBufferIdx==8)
{
    calculate();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("NS:  ");
    lcd.setCursor(4, 0);
    lcd.print(windNS);

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("SN:          ");
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print(windSN);
    lcd.setCursor(11, 1);

    /*

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(receiveBuffer[0]);
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[1]);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[2]);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[3]);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(receiveBuffer[4]);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[5]);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[6]);
        lcd.print(" ");
        lcd.print(receiveBuffer[7]);
    */

}
else
{
    clearLCD();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("problhma");
}
}
```

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

Προγραμματισμός slave:

```
#include "calculate.h"
#include "app.h"
// Calculation parameters
int16_t kernel[KERNEL_LENGTH] = {347,-384,386,-418,406,-429,423,-443,461,-
444,426,-422,405,-411,384,-380,348};

uint32_t getTimeOfFlight(SINGLE_MEASUREMENT *singleMeasurement)
{
    //PGD_READY_LAT = 1;

    uint8_t sample_idx = 0;
    uint8_t kernel_idx = 0;
    int32_t result = 0;
    int32_t maximum_result = 0;
    uint8_t maximum_result_idx = 0;

    for(sample_idx=0; sample_idx<(NUMBER_OF_AMPLITUDE_CAPTURES-
KERNEL_LENGTH+1); sample_idx+=2)
    {
        result = 0;
        for(kernel_idx=0; kernel_idx<KERNEL_LENGTH; ++kernel_idx)
        {
            result +=
(*singleMeasurement).amplitude[sample_idx+kernel_idx] * kernel[kernel_idx];
        }
        //result -= (*singleMeasurement).amplitude[sample_idx];

        if(result>maximum_result)
        {
            maximum_result = result;
            maximum_result_idx = sample_idx;
        }
    }

    result = 0;
    for(sample_idx=maximum_result_idx;
sample_idx<(maximum_result_idx+NUMBER_OF_ZEROCROSSINGS_TO_ADD);
++sample_idx)
    {
```

ΥΠΕΡΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

```
        result += (*singleMeasurement).zerocrossing[sample_idx];
    }
    //result = (*singleMeasurement).zerocrossing[maximum_result_idx+8];

    //PGD_READY_LAT = 0;
    return result;
#define DISTANCE_NS 0.245
#define DISTANCE_EW 0.245

//Time of flight are measured in milliseconds
//Distance is measured in meters
//Returned value is in meters per second (m/s)
long double getSpeedOfSound(uint32_t timeOfFlight1, uint32_t timeOfFlight2, long
double distance)
{
    long double t1;
    long double t2;
    long double speedOfSound;

    //timeOfFlight1 -= (25000 * 16);
    t1 = (long double) timeOfFlight1;

    //timeOfFlight2 -= (25000 * 16);
    t2 = (long double) timeOfFlight2;

    //Compensating for milliseconds
    //Includes a factor of 0.5 to save a multiplication later on
    distance *= 500000000.0;

    speedOfSound = (distance/t1) + (distance/t2);
    return speedOfSound;
}
```

Βιβλιογραφία

- Animation Showing Sonic Principle of Operation (Time of Flight Theory) (<http://www.gill.co.uk>) - Gill Instruments
- Gill Instruments: meteorological technology, "how do gill ultrasonic anemometer work?", (n.d) Available: <http://gillinstruments.com>
- Γ. Λευθεριώτης, "Αιολική Ενέργεια & Ενέργεια του Νερού", 2015. [Online]. Available: <https://eclass.upatras.gr>..
- Gill Instruments: meteorological technology, "wind speed and direction sensors", (n.d.) Available: <http://gillinstruments.com>
- Gill Instruments: meteorological technology, "wind sonic user manual", August 2006 Available: <http://gillinstruments.com>
- Gill Instruments: meteorological technology, "user manual: Ultrasonic anemometer, Doc No: 1405-PS-0019, Issue 22", December 2015 Available: <http://gillinstruments.com>
- T.C.Hayes and P. Horowitz, Learning the art of electronics, Cambridge university press,2016
- Βικιπαίδεια: Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Wikimedia Foundation INC, ανακτήθηκε την 9/10/2019, "Arduino", <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- Βικιπαίδεια: Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Wikimedia Foundation INC, ανακτήθηκε την 9/10/2019, "SMD" <https://el.wikipedia.org/wiki/smd>
- Elisavet Georgiadou (2015), "Τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα μελανιών και επιστρώσεων: Εστίαση στα μελάνια των μεθόδων εκτύπωσης με εκτυπωτική πλάκα"
- Wagner, G. Donald (1999). "Ιστορία της ηλεκτρονικής συσκευασίας στο APL: Από το VT Fuze στο NEAR διαστημικό σκάφος" . Johns Hopkins APL Technical Digest . Ανακτήθηκε 2016-12-19 .

ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ

- "υγρές φωτογραφικές μάσκες συγκόλλησης" . Προϊόντα κυκλωμάτων Coates .
- Jakobsen, J.B.; Cheynet, E.; Snæbjörnsson, J.; Mikkelsen, T.; Sjöholm, M.; Angelou, N.; Hansen, P.; Mann, J.; Svardal, B.; Kumer, V.; et al. Assessment of wind conditions at a Fjord inlet by complementary use of sonic anemometers and lidars. *Energy Procedia* 2015, 80, 411–421.
- Suomi, I.; Vihma, T. Wind gust measurement techniques—From traditional anemometry to new possibilities. *Sensors* 2018
- Yi, J.; Zhang, J.W.; Li, Q.S. Dynamic characteristics and wind-induced responses of a super-tall building during typhoons. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 2013
- Levitan, M.C.; Mehta, K.C. Texas Tech field experiments for wind loads. Part I. Building and pressure measuring system. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 1992
- Levitan, M.C.; Mehta, K.C. Texas tech field experiments for wind loads. Part II. Meteorological instrumentation and terrain parameters. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 1992
- D. L. Poole and A. K. Mackworth, *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*. United States: Cambridge University Press, 2010.
- S. Shoval and J. Borenstein, “Using coded signals to benefit from ultrasonic sensor crosstalk in mobile robot obstacle avoidance,” *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.01CH37164)*, 2001.
- T. Mohammad, “Using ultrasonic and infrared sensors for distance measurement,” *World Academy of Science, Engineering and Technology*
- D. P. Massa, “Choosing an ultrasonic sensor for proximity or distance measurement”
- *Ναυτική Μετεωρολογία*" Χ. Περογιαννάκη, ταξίαρχου Π.Α. τ. Γενικού Διευθυντού ΕΜΥ, - Ίδρυμα Ευγενίδου, 1974, Αθήνα.
- Τσούτσος Θ., 'Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τα Ενεργειακά Έργα', Σημειώσεις Ανάλυσης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, Μάρτιος 2001.