

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

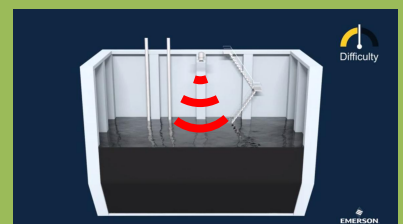
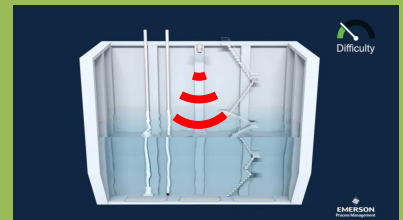
ΘΕΜΑ:

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ
& RADAR ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
Khaled Salas

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Μηχανιώνα
2017



**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:
**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ
& RADAR ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
Khaled Salas

Αριθμός Μητρώου:
4977

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

**Μηχανιώνα
2017**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ:

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Κεφάλαιο 1 Ιστορικά στοιχεία - Εισαγωγή	6
1.1 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων	11
1.2 Μέτρηση	12
Κεφάλαιο 2 Αισθητήρες Υπερήχων	14
2.1 Υπέρηχοι	14
2.1 Αισθητήρες υπερήχων	15
2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα & Εφαρμογές των αισθητήρων υπερήχων	16
2.3 Αρχή λειτουργίας μέτρηση σε Υπερήχους	17
2.3.1 Μέθοδος Time of Flight (TOF)	17
2.3.2 Μέθοδος Doppler	18
2.4 Αισθητήρες ροής υπερήχων	20
2.5 Αισθητήρες απόστασης υπερήχων	22
2.6 Μέτρηση στάθμης σε υγρά με αισθητήρες απόστασης υπερήχων	23
2.7 Μέτρηση στάθμης σε στερεά	24
Κεφάλαιο 3 Αισθητήρας μικροκυμάτων ραντάρ (Guided Microwave or Radar)	25
3.1 Μέτρηση στάθμη με ραντάρ.	26
3.2 Μέθοδος FMCW	27
3.3 Μέθοδος Παλμών	28
3.4 Μετρητές ραντάρ σε LNG και LPG.	29
3.5 Μετρητές ραντάρ πετρελαιοφόρα πλοία	30
3.6 Επίπεδο Δυσκολίας στη μέτρηση της στάθμης μία δεξαμενής	31
Βιβλιογραφία	34

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τις εφαρμογές αισθητήρων υπέρηχων και Radar στη ναυτιλία και συγκεκριμένα χρήση των κυμάτων υπέρηχων και το Radar για μέτρηση ροής, απόστασης, και στάθμης.

Αρχικά επιχειρείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση των οργάνων των αισθητήρων με έμφαση στον ορισμό τους, τα χαρακτηριστικά τα όποια φέρουν, τα κυριότερα είδη αυτών καθώς και τις εφαρμογές τους στους διάφορους κλάδους. Εν συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπέρηχος, οι αισθητήρες υπερήχων με τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, οι αρχές λειτουργίας της μέτρησης με υπερήχους, και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι αισθητήρες ροής υπερήχων, αισθητήρες απόστασης υπερήχων, και η μέτρηση στάθμης σε υγρά και με αισθητήρες απόστασης υπερήχων.

Εν συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά ο αισθητήρας μικροκυμάτων Radar ως αρχή μέτρησης, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, μέτρηση στάθμης με Radar, μέθοδος FMCW, μέθοδος παλμών, μετρητές ραντάρ σε LNG και LPG, μετρητές ραντάρ σε πετρελαιοφόρα πλοία, και επίπεδο δυσκολίας στη μέτρηση της στάθμης μία δεξαμενής.

Abstract

This thesis involves the construction of the ultrasonic and Radar sensor applications in shipping and the using of ultrasonic waves and Radar on flow, distance, and level, measurement.

First of all, is being attempted sensors' bibliographic review with emphasis on their definition, their characteristics, the main types and their applications in various disciplines. Then presented details on ultrasonic waves, the ultrasonic sensors with Advantages - Disadvantages showing the principles of operation measurement Ultrasound, then presented in detail the ultrasonic flow sensors, distance ultrasonic sensors and level measurement in liquids.

It then presents detailed sensor microwave Radar as a measuring principle, advantages and disadvantages, measuring level of Radar, method FMCW, Pulse method, radar gauges in LNG and LPG, Radar gauges in oil tanker ships and Difficulty in measuring a tank level.

Κεφάλαιο 1 Ιστορικά στοιχεία - Εισαγωγή

Αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Για παράδειγμα, το υδραργυρικό θερμόμετρο μετατρέπει τη μετρούμενη θερμοκρασία σε διαστολή, η οποία μπορεί να αναγνωστεί από ένα βαθμονομημένο σωλήνα.

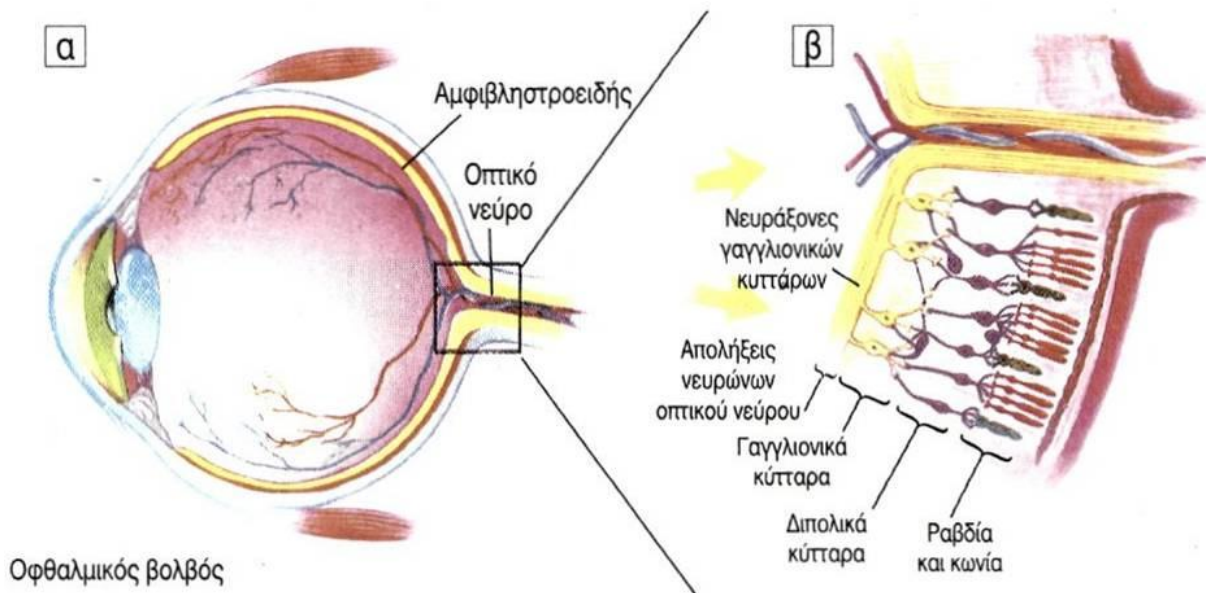


Σχήμα 1. διάφοροι αισθητήρες

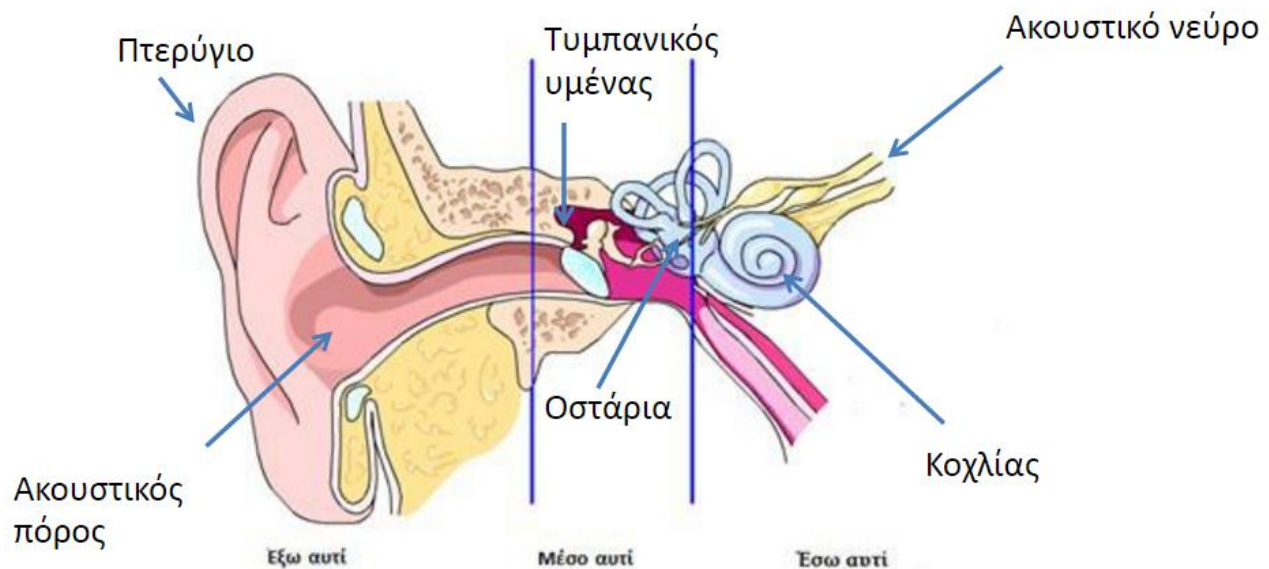
Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κουμπιά ανελκυστήρων ευαίσθητα στην αφή και λάμπες φωτισμού που εκπέμπουν λαμπρότερα ή απαλότερα αγγίζοντας τη βάση τους. Υπάρχουν αναρίθμητες ακόμη χρήσεις που οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται. Εφαρμογές τους συναντούμε στα αυτοκίνητα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία και τη ρομποτική [1].

Η σημασία των αισθητήρων για τον άνθρωπο είναι σχεδόν αυτονόητη. Οι πρώτοι αισθητήρες εμφανίζονται μαζί με τα έμβια όντα που αποτελούν όργανα τους.

Το μάτι και το αυτί είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα, το πρώτο ανιχνεύει τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το δεύτερο τον ήχο, δηλαδή κύματα πίεσης.



Σχήμα 2. Ανατομία αμφιβληστροειδούς χιτώνα

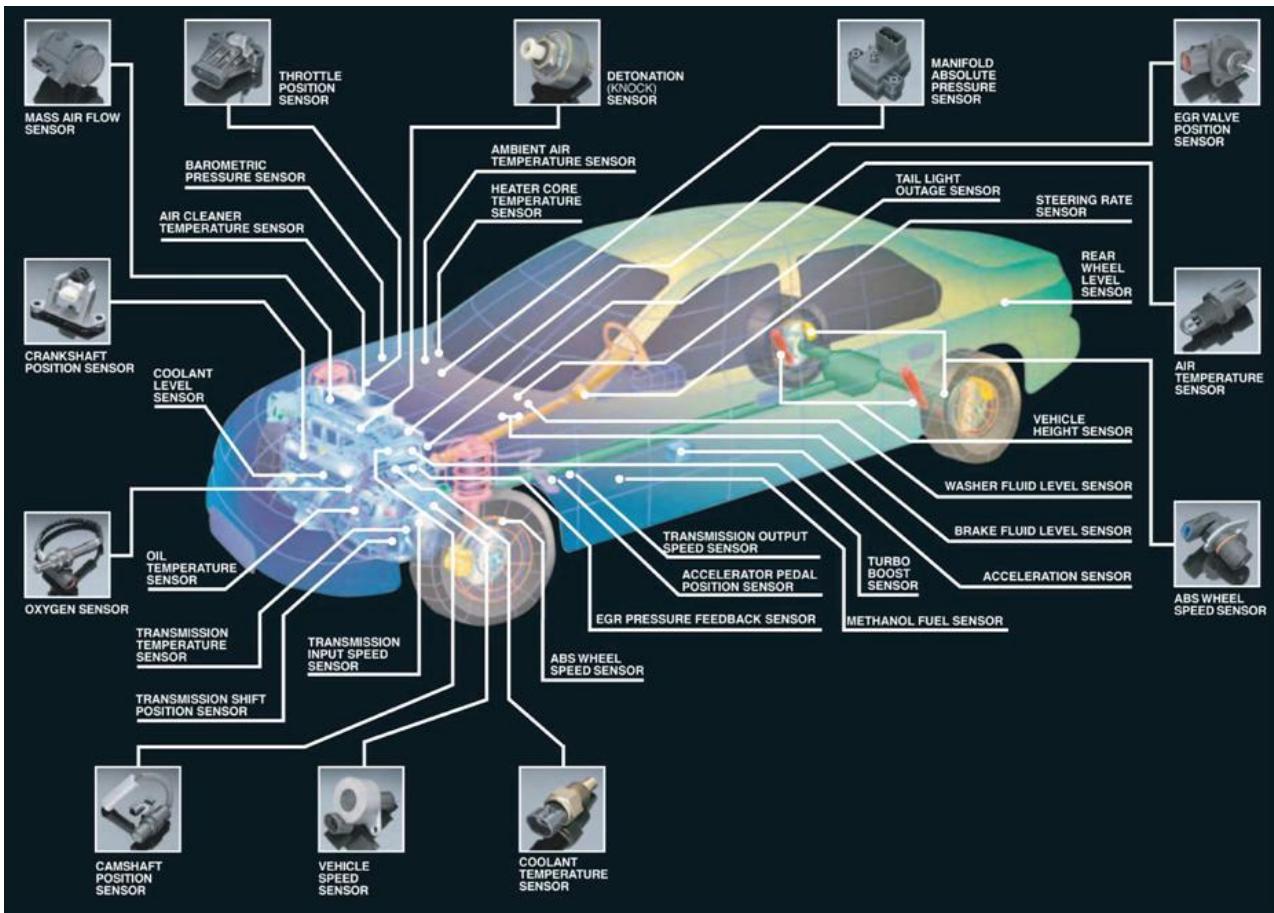


Σχήμα 3. Ανατομία αυτιού

Πολύ αργότερα, ο άνθρωπος συνειδητοποιεί ότι χρειάζεται όργανα για να λύσει καθημερινά πρακτικά προβλήματα, όπως αυτό της μέτρηση μήκους, του βάρους ή του όγκου. Στη συνέχεια η επιθυμία του ανθρώπου να γνωρίσει τη φύση αλλά και διάφοροι πρακτικοί λόγοι, δημιουργούν την ανάγκη μέτρησης περισσότερων φυσικών μεγεθών. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το πρώτο θερμόμετρο εμφανίζεται το 1585, ενώ το βαρόμετρο το 1643 [2]

Οι πρώτοι αισθητήρες και όργανα μέτρησης είναι μηχανικά. Η αρχή λειτουργία του πρώτου θερμόμετρου βασίζεται στη μεταβολή της στάθμης ενός ρευστού ανάλογα με την ασκούμενη σε αυτό πίεση. Η συστηματική μελέτη του ηλεκτρισμού οδήγησε στην ανάπτυξη νέων αισθητήρων – ηλεκτρικών, η έξοδος των οποίων ήταν αναλογικό με το σήμα. Η ανάπτυξη των ημιαγωγών είχε αποτέλεσμα τη δημιουργία ημιαγωγών αλλά και ψηφιακών οργάνων μέτρησης [3].

Για να συνειδητοποιήσει κανείς τη ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των αισθητήρων, αρκεί να θυμηθεί ότι τα αυτοκίνητα παραγωγής της δεκαετίας του '60 και του '70, περιελάμβαναν δύο μόνο απλούς ηλεκτρικούς αισθητήρες, ένα για την μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού και ένα δεύτερο για την μέτρηση της στάθμης του καυσίμου.



Σχήμα 4. Παράδειγμα αισθητήρων αυτοκινήτου [4]

Τα σύγχρονα αυτοκίνητα διαθέτουν πολλαπλάσιους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την:

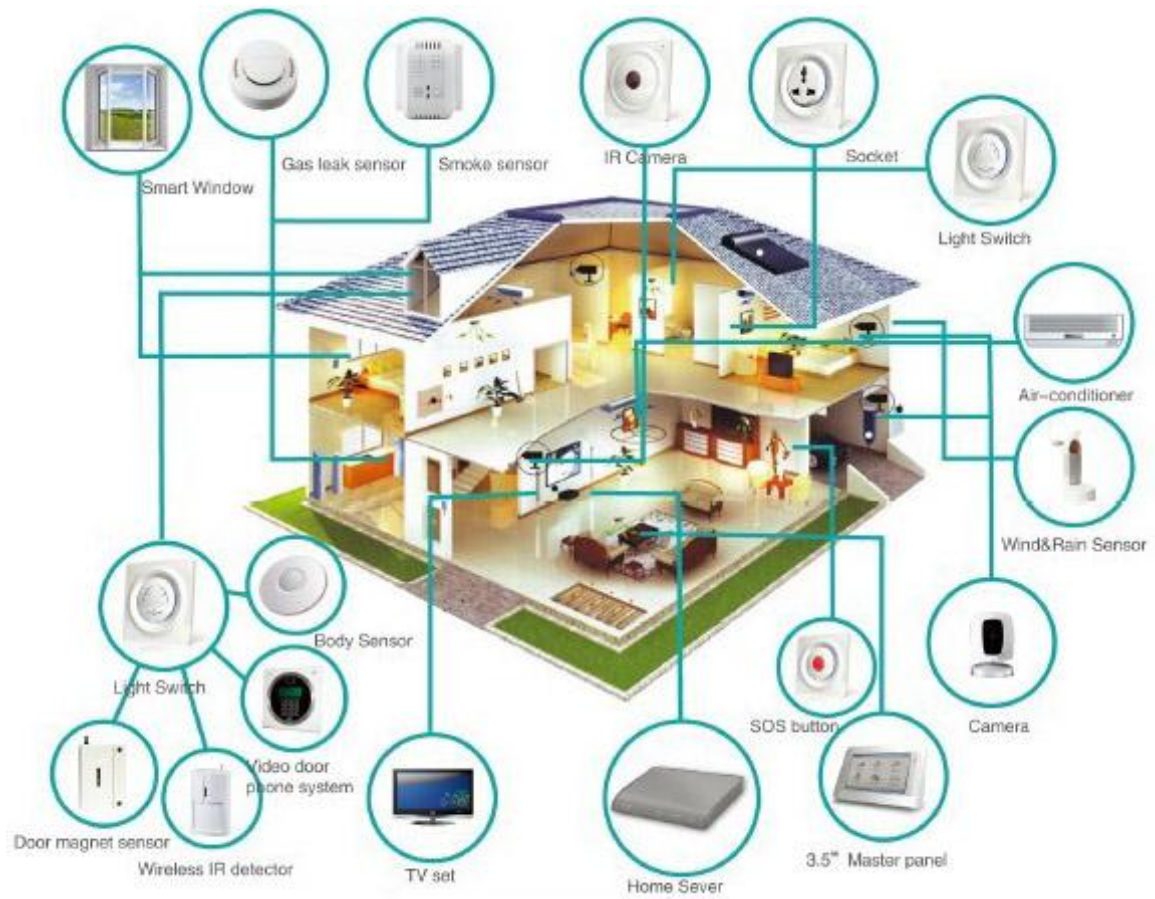
- μέτρηση της πίεσης των ελαστικών,
- μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα εισαγωγής,
- ανίχνευση βροχής,

- μέτρηση της φωτεινότητας του περιβάλλοντος,
 - ανάγκη ενεργοποίησης των ζωνών ασφαλείας και των αερόσακων,
 - ανάγκη ενεργοποίησης του συστήματος αντιμπλοκαρίσματος των τροχών
- και για πληθώρα άλλων αναγκών για τις οποίες δεν μπορούμε να επεκταθούμε εδώ. Η επιλογή ενός αισθητήρα εξαρτάται από τη φύση των παραμέτρων που πρέπει να μετρηθούν, καθώς και από άλλους παράγοντες, όπως: κόστος, αξιοπιστία, ποιότητα, χρόνος και χώρος αξιοποίησης της απαιτούμενης πληροφορίας, περιβάλλον χρήσης. Υπάρχουν δύο πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες: η συλλογή πληροφορίας (μέτρηση) και ο έλεγχος συστημάτων. Η χρήση της τεχνολογίας αισθητήρων στα πεδία αυτά διαφέρει ως προς τον τρόπο αξιοποίησης της πληροφορίας που λαμβάνεται από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες ως ανιχνευτές συλλογής πληροφορίας παρέχουν πληροφορία με στόχο να είναι διαρκώς γνωστή και κατανοητή η τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων ενός συστήματος (π.χ. ανιχνευτής – ταχύμετρο αυτοκινήτου). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καταγράφουν και να παρέχουν μία εικόνα της εξέλιξης των παραμέτρων του συστήματος (π.χ. ταχογράφος). Οι αισθητήρες συστημάτων ελέγχου είναι της ίδιας μορφής, αλλά συνήθως τροφοδοτούν ελεγκτή ο οποίος παράγει μία νέα έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου (π.χ. anti-lock brake system, ABS: ελέγχει την πίεση που ασκείται στα φρένα ώστε να μην ολισθαίνουν οι τροχοί κατά τη διάρκεια της χρήσης των φρένων).

Σήμερα χρησιμοποιούνται υπερσύγχρονοι επεξεργαστές με χαμηλό κόστος ως ελεγκτές, των οποίων όμως η αξιοποίηση θα ήταν πολύ δύσκολη εάν δεν τροφοδοτούνταν από τις κατάλληλες πληροφορίες που συλλέγονται από αποδοτικούς και αξιόπιστους αισθητήρες.

Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη των αισθητήρων έδωσε η ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων της σύγχρονης έρευνας στις θετικές επιστήμες καθώς και της εξέλιξης της τεχνολογίας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη διαστημική τεχνολογία και στη Φυσική των Σωματιδίων.

Οι μελλοντικοί εξελιγμένοι αισθητήρες αναμένεται ότι θα προκύψουν από την έρευνα στη νανοτεχνολογία και τη βιοτεχνολογία.



Σχήμα 5. Παράδειγμα αισθητήρων σπιτιού [5]



Σχήμα 6. Παράδειγμα αισθητήρων δεξαμενοπλοίου [6]

1.1 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Τα χαρακτηριστικά το αισθητήρων είναι τα επόμενα:

Εύρος - Range

Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα (μέγιστη και ελάχιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει)

Ακρίβεια - Accuracy

Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.

Σφάλμα - Error

Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.

Ανοχή - tolerance

Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.

Διακριτική ικανότητα - resolution

Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.

Ευαισθησία - sensitivity

Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς τη αλλαγή εισόδου, είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.

Βαθμονόμηση - calibration

Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.

Νεκρή ζώνη - dead zone

Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.

Γραμμικότητα - linearity

Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο του αισθητήρα.

Απόκριση - response

Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει τη τελική τιμή η έξοδος.

Καθυστέρηση - lag

Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.

Ευστάθεια - stability

Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.

Υστέρηση - hysteresis

Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.

Επαναληψιμότητα - repeatability

Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.

Ολίσθηση - drift

Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.

Στατικό σφάλμα – static error (bias)

Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.

Χρόνος λειτουργίας – operating time

Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

1.2 Μέτρηση

Μέτρηση (measurement) είναι ο προσδιορισμός ενός μεγέθους ή ποσού με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης (measurement unit, πχ. το μέτρο, το κιλό κλπ.).

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα συστήματα μέτρησης (measurement systems). Οι μετρήσεις των φυσικών και των χημικών φαινομένων αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο άνθρωπος από πολύ παλιά χρησιμοποίησε τη μέτρηση για να μπορέσει να εκφράσει ποσότητες (πχ. του λαδιού, της απόστασης κλπ.), ώστε να μπορέσει να επικοινωνήσει με τους άλλους ανθρώπους και να διεξάγει πλήθος δραστηριοτήτων (πχ. πωλήσεις και αγορές προϊόντων κλπ.). Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας, οι μετρήσεις εκτός από την έκφραση του μεγέθους μιας ποσότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στα λεγόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου (automatic control systems). Στα συστήματα αυτά μετράται ένα μέγεθος, η μέτρηση συγκρίνεται με μια επιθυμητή τιμή και στη συνέχεια η διαφορά τους χρησιμοποιείται για να ελέγξει μια διαδικασία, έτσι ώστε το μετρούμενο μέγεθος να συμπίσει τελικά με την επιθυμητή τιμή. Στις μέρες μας δεν υπάρχει καμία βιομηχανική μονάδα χωρίς συστήματα αυτόματου ελέγχου, μέρος των οποίων είναι τα συστήματα μέτρησης.

Οι ιδανικοί αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί για να είναι γραμμικοί ή γραμμικοί σε κάποια απλή μαθηματική συνάρτηση της μέτρησης, τυπικά λογαριθμική. Η έξοδος ενός τέτοιου αισθητήρα είναι ένα αναλογικό σήμα και γραμμικά ανάλογο με την τιμή

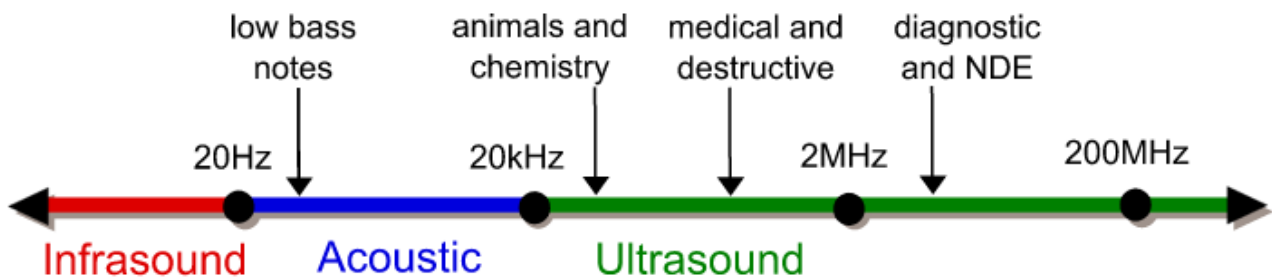
ή την απλή συνάρτηση της μέτρησης. Η ευαισθησία στην συνέχεια ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ του σήματος εξόδου και της μετρούμενης τιμής. Για παράδειγμα εάν ένας αισθητήρας μετράει θερμοκρασία και έχει μια τάση εξόδου η ευαισθησία είναι σταθερή με την μονάδα . Ο αισθητήρας αυτός είναι γραμμικός επειδή η αναλογία είναι σταθερή σε όλα τα σημεία μέτρησης.

Το αναλογικό σήμα ενός αισθητήρα που πάει προς επεξεργασία θα πρέπει να μετατραπεί σε ψηφιακό με την χρησιμοποίηση ενός αναλογικού ψηφιακού μετατροπέα

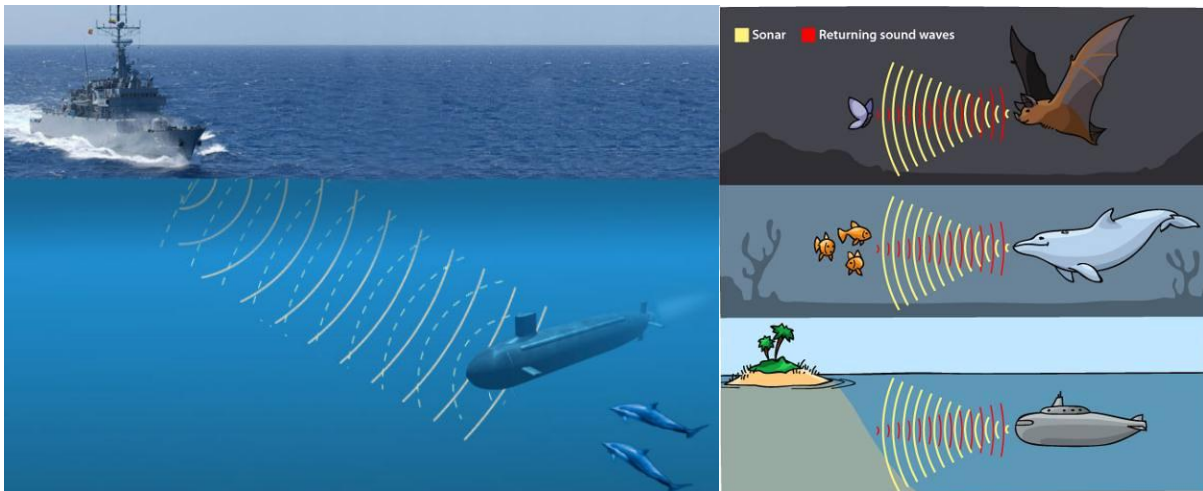
Κεφάλαιο 2 Αισθητήρες Υπερήχων

2.1 Υπέρηχοι

Ο υπέρηχος είναι μια μηχανική ταλάντωση με συχνότητα μεγαλύτερη από το ανώτερο όριο της ανθρώπινης ακοής. Αυτό σημαίνει ότι δεν διαχωρίζεται από τον «κανονικό» ήχο λόγω διαφορών στις φυσικές ιδιότητες, αλλά μόνο στο γεγονός ότι ο άνθρωπος δεν μπορεί να το ακούσει. Παρόλο που το όριο αυτό κυμαίνεται από άτομο σε άτομο, είναι περίπου 20kHz (20000 Hertz) στο μέσο ενήλικα. Οι συσκευές υπερήχων λειτουργούν με συχνότητες που κυμαίνονται από 20kHz έως πολλά GHz. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα δουλέψουμε στα 40kHz.



Σχήμα 7. φάσμα υπερήχων [7]



Σχήμα 8. sonar [8]

Μια κοινή χρήση του υπέρηχου είναι στην μέτρηση απόστασης, η οποία στο νερό ονομάζεται **Sonar**. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής ένας παλμός δημιουργείται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Εάν υπάρχει ένα αντικείμενο στο μονοπάτι του παλμού αυτού, τότε έχουμε μερική ή και ολική ανάκλασή του πίσω στον δέκτη με την μορφή αντήχησης. Μετρώντας την χρονική διαφορά μεταξύ της εκπομπής και λήψης του σήματος είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η απόσταση. Συγκεκριμένα,

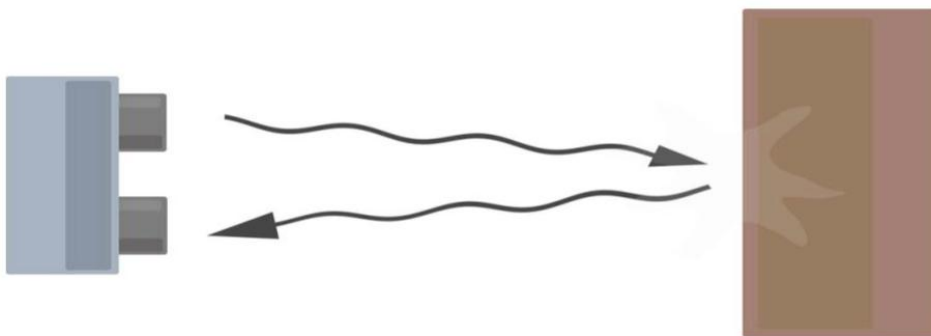
εφαρμογή βρίσκει αυτή η μέθοδος σε όργανα μέτρησης, τα οποία μπορούν ταχύτατα να μετρήσουν τις διαστάσεις δωματίων.

2.1 Αισθητήρες υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων παρέχουν μια οικονομικά αποδοτική μέθοδο ανίχνευσης με ιδιότητες που δεν υπάρχουν σε άλλες τεχνολογίες. Με τη χρήση μιας ευρείας ποικιλίας μετατροπέων υπερήχων και διάφορα φάσματα συχνοτήτων, ένας αισθητήρας υπερήχων μπορεί να σχεδιαστεί για να λύσει πολλά προβλήματα εφαρμογών που είναι απαγορευτικά στο κόστος ή απλά δεν μπορούν να λυθούν από άλλους αισθητήρες.

Οι αισθητήρες υπερήχων εκπέμπουν συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας προς την επιφάνεια του στόχου και ανακλώνται πίσω στον αισθητήρα. Τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα μετρούν το χρόνο λήψης του σήματος και τον μετατρέπουν σε μονάδα μήκους.

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αέρα, οι αισθητήρες υπερήχων περιλαμβάνουν έναν ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις στάθμης/ απόστασης αντισταθμίζονται αυτόματα σε όλη την κλίμακα λειτουργίας του αισθητήρα.



Σχήμα 9. αρχή λειτουργίας αισθητήρα υπερήχων

Κλασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανίχνευση προσέγγισης, την παρουσία ή την απουσία αντικειμένου, την ανίχνευση εμποδίων σε αυτοματοποιημένα οχήματα, την μέτρηση απόστασης, μέτρηση στάθμης, κ.λ.π.

Στην κατηγορία των αισθητήρων υπερήχων εντάσσονται λοιπόν οι παρακάτω:

- ✓ Αισθητήρες στάθμης.
- ✓ Αισθητήρες απόστασης.
- ✓ Αισθητήρες ταχύτητας
- ✓ Αισθητήρες ροής.

2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα & Εφαρμογές των αισθητήρων υπερήχων

Πλεονεκτήματα

Ο αισθητήρας δεν έρχεται σε επαφή με το μετρούμενο υλικό. Η μέτρηση είναι ανεξάρτητη από την πυκνότητα του υλικού. Δεν έχει κινητά μέρη, έχει στιβαρή κατασκευή.

Μειονεκτήματα

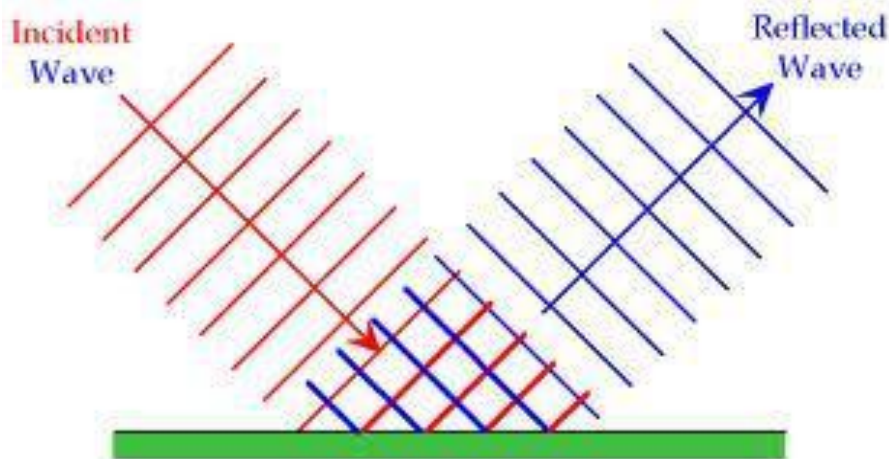
Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται κατά πολύ από τη θερμοκρασία και πίεση. Ο σχηματισμός αερίου επάνω από την επιφάνεια του υλικού μπορεί να επηρεάσει τη ταχύτητα του ήχου, ύπαρξη αφρού απορροφά μεγάλο μέρος των υπερήχων. Μηχανικά μέρη στην δεξαμενή (π.χ. άλλα εσωτερικά αισθητήρια, αναδευτήρες, προεξοχές κ.α) μπορούν να παρεμποδίσουν το σήμα. Οι σύγχρονοι αισθητήρες διαθέτουν συστήματα αντιστάθμισης θερμοκρασίας, υπολογισμού απορρόφησης σήματος, καθώς και απόρριψης ζωνών μέτρησης για να μειωθούν οι πιθανότητες εσφαλμένης μέτρησης.

Εφαρμογές

Συναντά εφαρμογές σε μετρήσεις στάθμης σε υγρά και στερεά υλικά. Μεγάλο πεδίο εφαρμογών σε βιολογικούς καθαρισμούς, σιλό δημητριακών, άμμο, τσιμέντο, δεξαμενές υγρών κ.λ.π.

2.3 Αρχή λειτουργίας μέτρηση σε Υπερήχους

Η πραγματοποίηση μετρήσεων με την βοήθεια υπερήχων βασίζεται αρχικά σε μια πολύ απλή φυσική λειτουργία, αυτή της ανάκλασης του υπερήχου, μιας και αυτός είναι ένα κύμα. Η διαδικασία έχει ως εξής: αποστέλλουμε τον υπέρηχο στην προς μέτρηση επιφάνεια, μέσω του πομπού μας, και αυτός στη συνέχεια ανακλάται και λαμβάνεται από τον δέκτη μας. Ο υπέρηχος που θα ληφθεί, αξιοποιείται ώστε να εξαγάγουμε μια μέτρηση. Υπάρχουν δυο κυρίαρχες μέθοδοι που εφαρμόζονται στις μετρήσεις με χρήση υπερήχων. Η πρώτη μέθοδος είναι αυτή του **TOF** (Time Of Flight), ενώ η δεύτερη μέθοδος κάνει χρήση του φαινομένου **DOPPLER** και είναι ομώνυμη του. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η κάθε μέθοδος καθώς και στις περιπτώσεις που βρίσκουν εφαρμογή.



Σχήμα 10. φαινόμενο ανάκλασης

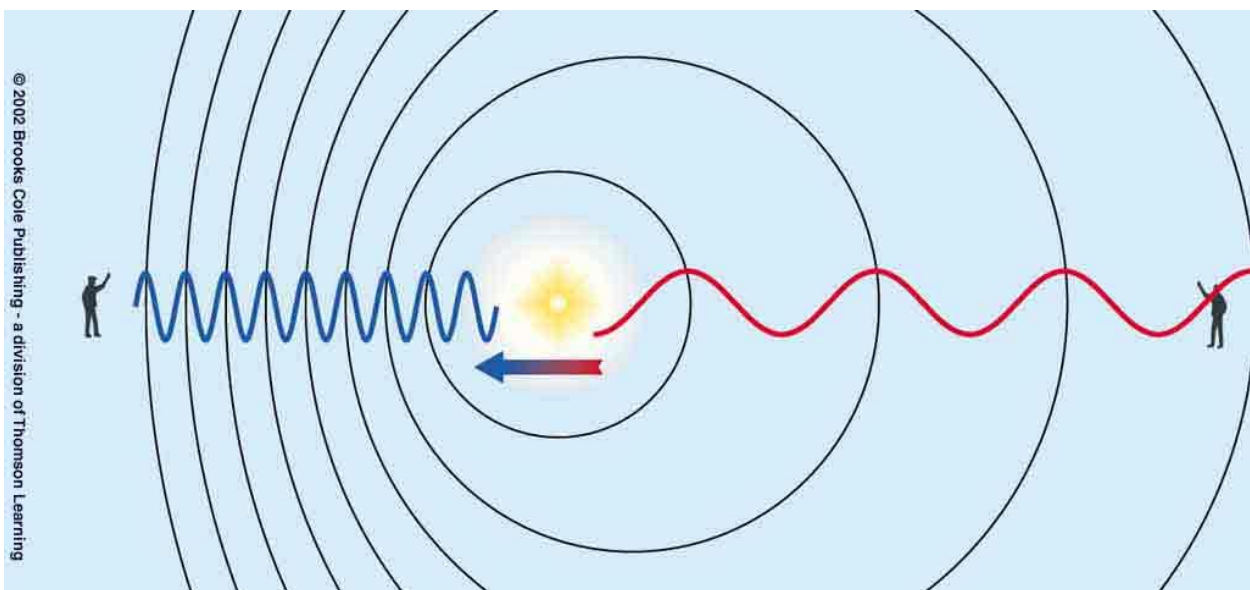
2.3.1 Μέθοδος Time of Flight (TOF)

Χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι η απλότητα της. Συνηθίζεται να βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα μέτρησης αποστάσεων ή στάθμης υγρών και σε μετρήσεις βαθών και σε σόναρ. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι η ακόλουθη. Ο υπέρηχος εκπέμπεται από το σύστημα, ενώ ταυτόχρονα ένα ρολόι ξεκινάει να μετρά. Μόλις ο υπέρηχος ληφθεί τότε το ρολόι σταματά να μετρά, και το σύστημα λαμβάνοντας υπόψη του την ταχύτητα διάδοσης του υπερήχου αλλά και την μέτρηση του χρόνου μπορεί να εξαγάγει μια εκτίμηση για την απόσταση που επιλέξαμε. Όπως φάνηκε είναι μία αρκετά απλή μεθοδολογία, αλλά και αρκετά αξιόπιστη.

2.3.2 Μέθοδος Doppler

Η τεχνική doppler εφαρμόζεται μόνο σε υγρά που περιέχουν σωματίδια ή φυσαλίδες που αντανακλούν το σήμα. Υπάρχουν ορισμένα "δύσκολα" υγρά που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους κανονικούς μετρητές ροής: παχύρρευστα, κατακάθια, λύματα, στιλβωτικά, διαβρωτικά χημικά, πετρέλαιο, sludge κλπ. Επιπλέον, λόγω της εξωτερικής εγκατάστασης του αισθητήρα δεν προκαλείται πτώση της πίεσης ή παρεμπόδιση του υγρού.

Μια άλλη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή στο πεδίο των μετρήσεων με τη χρήση υπερήχων είναι η μέθοδος DOPPLER. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται το ομώνυμο φαινόμενο που μελετάται από τη φυσική και είναι η μέθοδος με την οποία επιλέξαμε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις μας. Για αυτό το λόγο θα γίνει μια σύντομη αναφορά σε αυτό. Το φαινόμενο DOPPLER πήρε το όνομα του από τον Christian Doppler φυσικό από την Αυστρία, ο οποίος το πρότεινε το 1842. Το φαινόμενο αυτό πραγματεύεται την μεταβολή της συχνότητας ενός κύματος για έναν παρατηρητή ο οποίος κινείται με ταχύτητα σχετική με την ταχύτητα της πηγής που παράγει το κύμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου από την καθημερινότητα μας είναι ένα διερχόμενο όχημα το οποίο φέρει σειρήνα. Η συχνότητα που δεχόμαστε είναι υψηλότερη συγκρινόμενη με την εκπεμπόμενη καθώς το όχημα μας πλησιάζει, ενώ κατά την απομάκρυνση του η συχνότητα που λαμβάνουμε είναι χαμηλότερη, πάντα συγκρινόμενη με την εκπεμπόμενη.



Σχήμα 11. γραφική αναπαράσταση φαινομένου Doppler

Η μαθηματική περιγραφή του φαινομένου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f = \left\{ \frac{c \pm ur}{c \pm us} \right\} f_0$$

Όπου:

με c συμβολίζεται η ταχύτητα του ήχου στο μέσο.

με ur η ταχύτητα του παρατηρητή, και είναι θετική αν ο παρατηρητής κινείται προς την πηγή.

και us η ταχύτητα της πηγής, η οποία θεωρείται θετική αν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή.

ενώ με f_0 ορίζεται η συχνότητα εκπομπής της πηγής.

Από τα παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε ότι στέλνοντας έναν υπέρηχο σε μια επιφάνεια, από το ανακλώμενο κύμα που θα λάβουμε είναι αρκετά εύκολο μετρώντας τη μετατόπιση συχνότητας να εξαγάγουμε μια τιμή ταχύτητας δόνησης της επιφάνειας αυτής. Αν δε, χρησιμοποιήσουμε και την μέθοδο TOF ταυτόχρονα μπορούμε να εντοπίζουμε και την ακριβή θέση της. Το σύστημα που κατασκευάσαμε έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει και με τις δυο μεθόδους, αν το έχουμε ανάγκη, χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές .

Οι εφαρμογές που συναντάται το φαινόμενο είναι αρκετές, και σε ένα ευρύ επιστημονικό πεδίο. Ξεκινώντας από την ιατρική, όπου χρησιμοποιείται σε απεικονιστικές μεθόδους ή σε μετρήσεις ροής του αίματος, συνεχίζουμε στην τεχνολογία radar, για μέτρηση της ταχύτητας αντικειμένων. Ενώ χρησιμοποιείται και από την αστρονομία όπου το φαινόμενο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας με την οποία τα αστέρια και οι γαλαξίες πλησιάζουν ή απομακρύνονται από την γη.

Έχοντας περιγράψει τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με την παρούσα εργασία, στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στην παρουσίαση ορισμένων σχετικών εργασιών. Μέσα από αυτές θα είναι πιο εύκολο να καταλάβουμε τα υποκυκλώματα που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία, καθώς αυτές υπήρξαν σημαντική πηγή κατά τον σχεδιασμό.

2.4 Αισθητήρες ροής υπερήχων

Οι αισθητήρες ροής υπερήχων doppler μετρούν τη ροή εξωτερικά του αγωγού μέσω δετού αισθητήρα. Εκπέμπουν συνεχώς υπέρηχους στα 640 kHz που διασχίζουν τα τοιχώματα του σωλήνα και το τρεχούμενο υγρό. Ο ήχος ανακλάται πίσω στον αισθητήρα από σωματίδια ή φυσαλίδες που υπάρχουν στο υγρό. Αν το υγρό ρέει, η ηχώ επιστρέφει σε διαφορετική συχνότητα, ανάλογη της ταχύτητας ροής. Οι μετρητές ροής doppler μετρούν διαρκώς αυτές τις μεταβολές συχνότητας για να υπολογίσουν τη ροή.



Σχήμα 12. εικόνα μέτρησης με αισθητήρα ροής υπερήχων

Για καλύτερα αποτελέσματα οι αισθητήρες doppler πρέπει να τοποθετούνται μακριά από αναταράξεις και διαταραχές της ροής, όπως π.χ. γωνίες σωληνώσεων, και μακριά από εξαρτήματα επιτάχυνσης της ροής, όπως π.χ. βαλβίδες ελέγχου και αντλίες. Η τυπική ακρίβεια είναι $\pm 2\%$ της πλήρους κλίμακας.

Το σύστημα περιλαμβάνει ένα δετό αισθητήρα, καλώδιο σύνδεσης και μονάδα ελέγχου που μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βολική θέση (εντός 150 m). Οι αισθητήρες αυτού του είδους θεωρούνται εξαιρετικά ασφαλείς για εφαρμογές σε επικίνδυνες περιοχές.

Παράδειγμα αισθητήρα ροής Τύπος SHDFS-II



Σχήμα 13. αισθητήρας ροής υπερήχων τύπος SHDFS-II

Χαρακτηριστικά

- Εύκολη βαθμονόμηση
- Ακριβές και με μεγάλη επαναληψιμότητα
- Ρελαί ελέγχου 5 A DPDT
- Ρυθμιζόμενα σημεία λειτουργίας ON/ OFF
- Ρυθμιζόμενη χρονική καθυστέρηση
- LED κατάστασης εξόδου ρελαί

Λειτουργία

Έλεγχος ροής εξωτερικά του αγωγού: Συνιστάται για "δύσκολα υγρά" όπως παχύρρευστα, κατακάθια, λύματα, σπλιβωτικά, διαβρωτικά χημικά κλπ. Το SHDFS-II είναι ιδανικό για προστασία αντλιών ή για ενεργοποίηση συναγερμών ροής/ ακινησίας.

Ο αισθητήρας SHDFS-II εγκαθίσταται σε κάθε αγωγό διάμετρου πάνω από 1 ίντσα χωρίς να χρειάζεται να κοπεί ο αγωγός ή να σταματήσει η ροή/ διεργασία. Η τοποθέτησή του γίνεται πολύ γρήγορα και δε χρειάζεται συντήρηση. Περιλαμβάνει ένα DPDT ρελαί ελέγχου των 5A με ρυθμιζόμενο χρόνο καθυστέρησης 0-60 sec. Τα LED δείχνουν την κατάσταση εξόδου του ρελαί και την ένταση του σήματος. Τα ηλεκτρονικά βρίσκονται μέσα σε αδιάβροχη θήκη και το καλώδιο του αισθητήρα είναι με μπλεντάζ και φτάνει μέχρι τα 150 m.

2.5 Αισθητήρες απόστασης υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων παρέχουν μια οικονομικά αποδοτική μέθοδο ανίχνευσης με ιδιότητες που δεν υπάρχουν σε άλλες τεχνολογίες. Με τη χρήση μιας ευρείας ποικιλίας μετατροπών υπερήχων και διάφορα φάσματα συχνοτήτων, ένας αισθητήρας υπερήχων μπορεί να σχεδιαστεί για να λύσει πολλά προβλήματα εφαρμογών που είναι απαγορευτικά στο κόστος ή απλά δεν μπορούν να λυθούν από άλλους αισθητήρες.

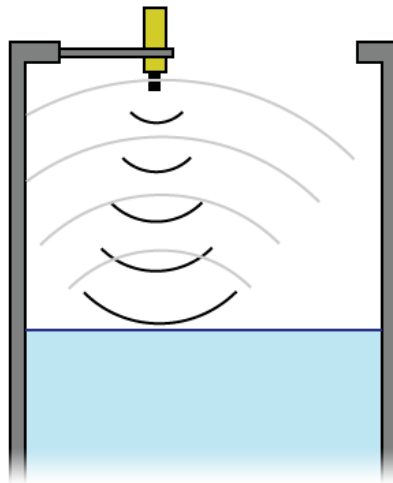
Οι αισθητήρες υπερήχων εκπέμπουν συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας προς την επιφάνεια του στόχου και ανακλώνται πίσω στον αισθητήρα. Τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα μετρούν το χρόνο λήψης του σήματος και τον μετατρέπουν σε μονάδα μήκους. Δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αέρα, οι αισθητήρες μας υπερήχων περιλαμβάνουν έναν ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις στάθμης/απόστασης αντισταθμίζονται αυτόματα σε όλη την κλίμακα λειτουργίας του αισθητήρα.

Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά

- Άμεση απεικόνιση μετρούμενης τιμής σε MM/ CM ή % σε ψηφιακή (LED) ένδειξη
 - Αντιστάθμιση θερμοκρασίας για μέτρηση ακριβείας σε εφαρμογές με διακύμανση θερμοκρασίας.
 - Δυνατότητα ρύθμισης του αισθητήρα μέσω της ψηφιακής απεικόνισης
- Αναλογικά σήματα εξόδου 4-20 mA και 0-10 V (2 αναλογικά σήματα σε ένα αισθητήρα).
- Τάση λειτουργίας 9-30 V για ποικίλες εφαρμογές.
 - Λειτουργία teach-in για αναγνώριση των συμβατικών σημείων ανίχνευσης.
 - Αυτόματος συγχρονισμός για ταυτόχρονη λειτουργία μέχρι και 10 μονάδων σε περιορισμένους χώρους.
 - Αυτόματη μεταστροφή μεταξύ εξόδων ρεύματος και τάσης.

2.6 Μέτρηση στάθμης σε υγρά με αισθητήρες απόστασης υπερήχων

Η στάθμη μπορεί να μετρηθεί με υπερήχους χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα ultrasonic level indicator. Προς το υγρό εκπέμπονται παλμοί υπερήχων και ένα μικρό ποσοστό αυτών ανακλάται προς τα πίσω από την επιφάνεια του υγρού. Το υπόλοιπο των παλμών ανακλάται από τη βάση της δεξαμενής. Και οι δύο ανακλώμενοι παλμοί μπορούν να απεικονισθούν στην οθόνη ενός παλμογράφου ή άλλης συσκευής απεικόνισης. Η διαφορά στο χρόνο άφιξης των παλμών είναι ανάλογη του βάθους του υγρού. Η τεχνική αυτή, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 5, παρέχει μεγάλη ακρίβεια και βρίσκει πολλές εφαρμογές ενώ δεν περιορίζεται μόνο στη μέτρηση στάθμης υγρών



Σχήμα 14. ανίχνευση στάθμης υγρού με αισθητήρα υπερήχων [10]



Σχήμα 15. ανιχνευτής στάθμης υγρού με αισθητήρα υπερήχων Rosemount™ 3100 Level [11]

Στο σχήμα 15 βλέπουμε έναν αξιόπιστο ανιχνευτή στάθμης με αισθητήρα υπερήχων για δεξαμενόπλοια τύπου Rosemount™ 3100 Level.



Σχήμα 16. ανιχνευτής στάθμης υγρού με αισθητήρα υπερήχων MUSASINO

2.7 Μέτρηση στάθμης σε στερεά

Οι αισθητήρες με χαμηλές συχνότητες και μεγαλύτερα μετατροπείς που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση χύμα στερεών. Τυπικές εφαρμογές είναι η μέτρηση επίπεδο των εμπορευματοκιβωτίων για μεταφορά χύμα στερεών, χύμα στερεών σιλό με μέσο μέγεθος διαστάσεις και ανοιχτή σωρούς.

Κεφάλαιο 3 Αισθητήρας μικροκυμάτων ραντάρ (Guided Microwave or Radar)

Αρχή Μέτρησης

Η φυσική παράμετρος που μετράται είναι οι παλμοί οδηγούμενων μικροκυμάτων. Ο εκπεμπόμενος παλμός μικροκυμάτων κινείται επάνω στην μεταλλική βέργα και ανακλάται πίσω, επάνω στην επιφάνεια του υλικού. Η στάθμη του υλικού υπολογίζεται από την ηλεκτρονική μονάδα και βασίζεται στον συνολικό χρόνο αποστολής-λήψης του παλμού.

Πλεονεκτήματα

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει και χωρίς να έχει τοποθετηθεί. Δεν έχει κινούμενα μέρη. Κατάλληλο και για στερεά υλικά (σε μορφή πούδρας, σκόνης, κόκκων). Υψηλή ακρίβεια μέτρησης. Ανεπηρέαστο από τη θερμοκρασία, πίεση.

Μειονεκτήματα

Κολλώδη υλικά μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα. Η διηλεκτρική σταθερά του μετρούμενου υλικού θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1,8 ($\epsilon_v < 1,8$). Δεν ισχύει αυτός ο περιορισμός για τα Radar Sensors. Η αρχή του ραντάρ είναι αντίστοιχη με την αναφερθείσα, μόνο που η εκπομπή γίνεται στον αέρα και όχι επάνω σε βέργα μεταλλική.



Σχήμα 17. διάφοροι μετρητές στάθμης radar

3.1 Μέτρηση στάθμη με ραντάρ.



Σχήμα 18. μέτρηση στάθμης

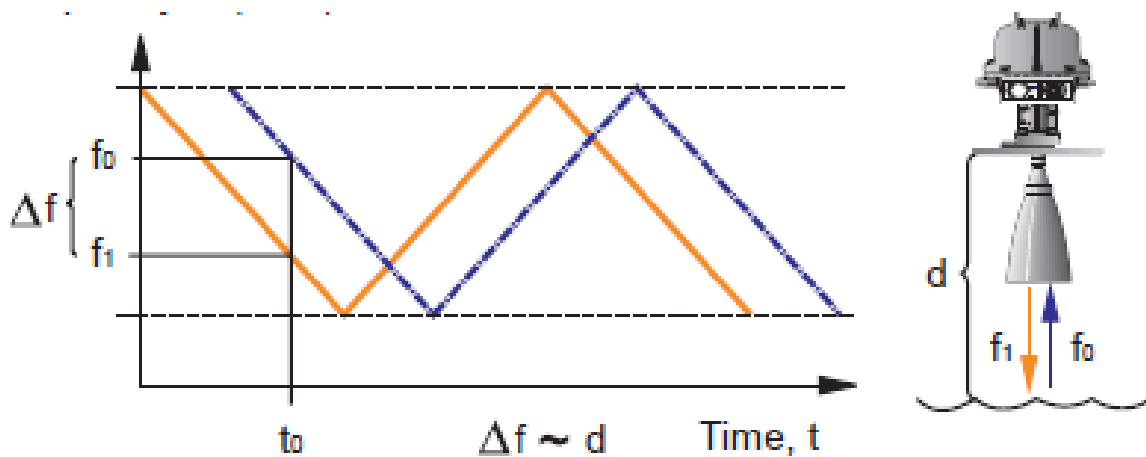
Για τη μέτρηση του επιπέδου ραντάρ, υπάρχουν κυρίως δύο τεχνικές διαμόρφωσης.

1. Μέθοδος παλμών. Μετρά το χρόνο που χρειάζεται για έναν παλμό να φτάσει στην επιφάνεια και για να γυρίσει. Παλμό δείκτες στάθμης ραντάρ είναι χαμηλότερα εφαρμογές ακρίβεια.

2. Μέθοδος FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) διαμόρφωση συχνότητας συνεχούς κύματος. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για την υψηλή απόδοση στους μετρητές στάθμης με ραντάρ.

3.2 Μέθοδος FMCW

Το εύρος του ραντάρ εκπέμπει μικροκύματα προς την επιφάνεια του υγρού. Το σήμα που στέλνει ο αισθητήρας έχει μεταβαλλόμενη συχνότητα γύρω στα 10 GHz. Όταν το σήμα φτάνει κάτω προς την επιφάνεια του υγρού και γυρνάει πίσω προς την κεραία του αισθητήρα ραντάρ αναμειγνύεται με το σήμα που μεταδίδεται ότι εκείνη τη στιγμή. Η συχνότητα του εκπεμπόμενου σήματος έχει αλλάξει ελαφρώς κατά τη διάρκεια του χρόνου που χρειάζεται για σήμα να φτάσει κάτω στην επιφάνεια και να γυρίζει πάλι πίσω. Κατά την ανάμιξη η μεταδιδόμενη και το λαμβανόμενο σήμα το αποτέλεσμα είναι ένα σήμα με χαμηλή συχνότητα ανάλογη προς την απόσταση από την επιφάνεια. Αυτό το σήμα έχει μία τιμή μέτρησης υψηλής ακρίβειας.

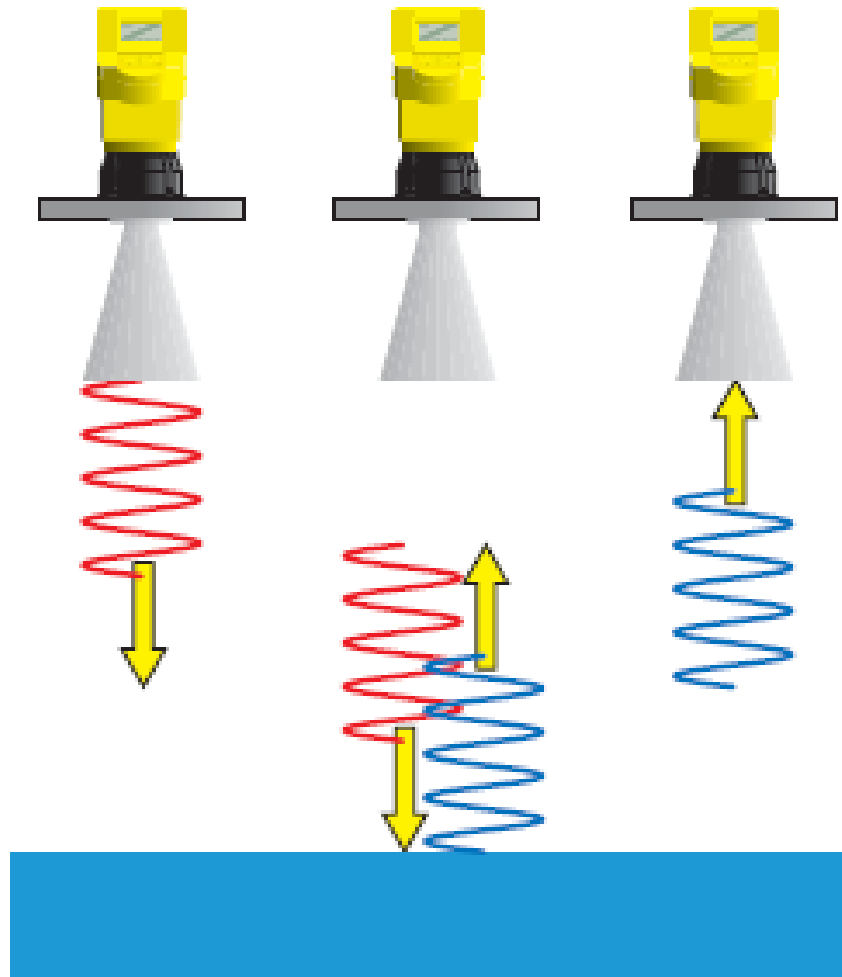


The FMCW method is based on a radar sweep with varying frequency.

Σχήμα 19. αρχή λειτουργίας μεθόδου FMCW

3.3 Μέθοδος Παλμών

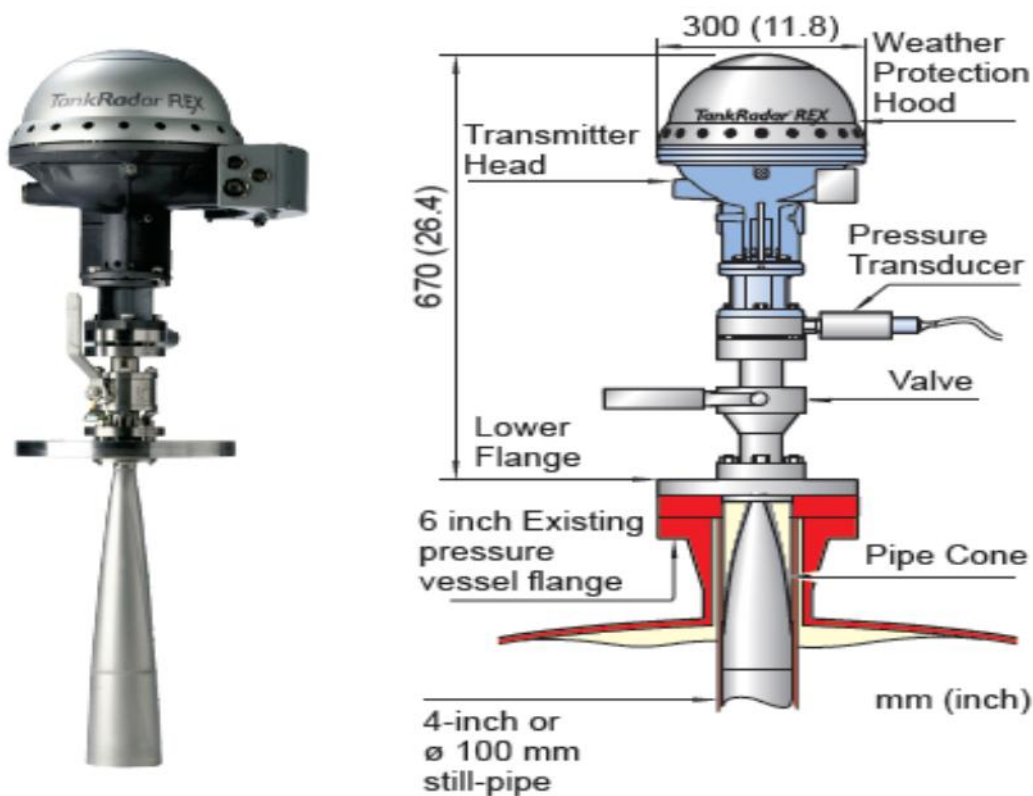
μέτρηση στάθμης ραντάρ παλμών (Pulse Radar Level Measurement), παρέχουν μέτρηση απόστασης με βάση την άμεση μέτρηση το χρόνο που χρειάζεται να μεταδίδονται οι παλμοί μικροκυμάτων και να γυρίσουν από την επιφάνεια του προϊόν που μετρείται.



Σχήμα 20. αρχή λειτουργίας μεθόδου παλμών

3.4 Μετρητές ραντάρ σε LNG και LPG.

Έχουν σχεδιαστεί για την μέτρηση του υγροποιημένου αερίου στις δεξαμενές LNG και LPG. Περιέχουν συνήθως ένα ακόμα σωλήνα που μεταδίδεται το σήμα στο εσωτερικό του για βοηθάει στην μετρητή να έχει μεγάλη απήχηση ακόμα και σε συνθήκες βρασμού επιφάνεια. Ο μετρητής είναι εξοπλισμένο με μια πυρίμαχη βαλβίδα, ένας αισθητήρας πίεσης χώρο ατμού. Ο αισθητήρας πίεσης απαιτείται για υψηλότερη ακρίβεια.



Σχήμα 21. μετρητής στάθμης radar που χρησιμοποιείται σε υγραεριοφόρα

Έχουν ακρίβεια μέτρησης μέχρι $\pm 3 \text{ mm} \pm (0.12 \text{ in})$.

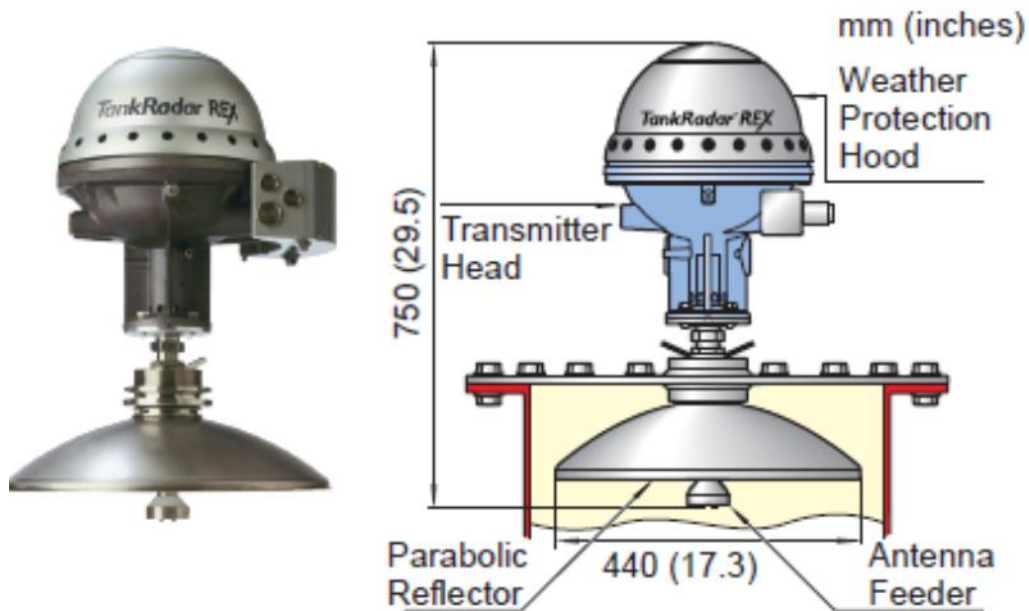
Λειτουργούν σε θερμοκρασία στη δεξαμενή από 170 μέχρι 90 °C (-274 μέχρι 194 °F) αρκεί να είναι θερμοκρασία βαλβίδας από -55 μέχρι 90 °C (-67 μέχρι 194 °F).

Οι πιέσεις λειτουργίας τους είναι από -1 μέχρι 25 bar (-14.5 μέχρι 365 psig).

Η περιοχή μέτρησης τους από είναι 0.5 μέχρι 60 m (1.6 μέχρι 200 ft).

3.5 Μετρητές ραντάρ πετρελαιοφόρα πλοία

Μετράνε τα επίπεδα στάθμης στις δεκάμηνές πετρελαίου στα πετρελαιοφόρα πλοία.



Σχήμα 22. μετρητής στάθμης radar που χρησιμοποιείται σε υγραεριοφόρα

Έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν τη ψηλή στάθμη, υπερχειλίση, και περιέχουν αισθητήρας πίεσεως για τη μέτρηση της πιέσεις πετρελαίου. Έχουν ακρίβεια μέτρησης μέχρι $\pm 0.5 \text{ mm} \pm (0.020 \text{ in.})$. Έχουν θερμοκρασία λειτουργίας Max. $+230 \text{ }^\circ\text{C} (+445 \text{ }^\circ\text{F})$.

3.6 Επίπεδο Δυσκολίας στη μέτρηση της στάθμης μία δεξαμενής

Στο σχήμα 23 βλέπουμε την εικόνα ενός δεξαμενοπλοίου. Αυτό μεταφέρει πετρέλαιο και έχει κατάλληλα όργανα μέτρησης της στάθμης των δεξαμενών φορτίου, όπως αισθητήρες με υπερήχους και ραντάρ.



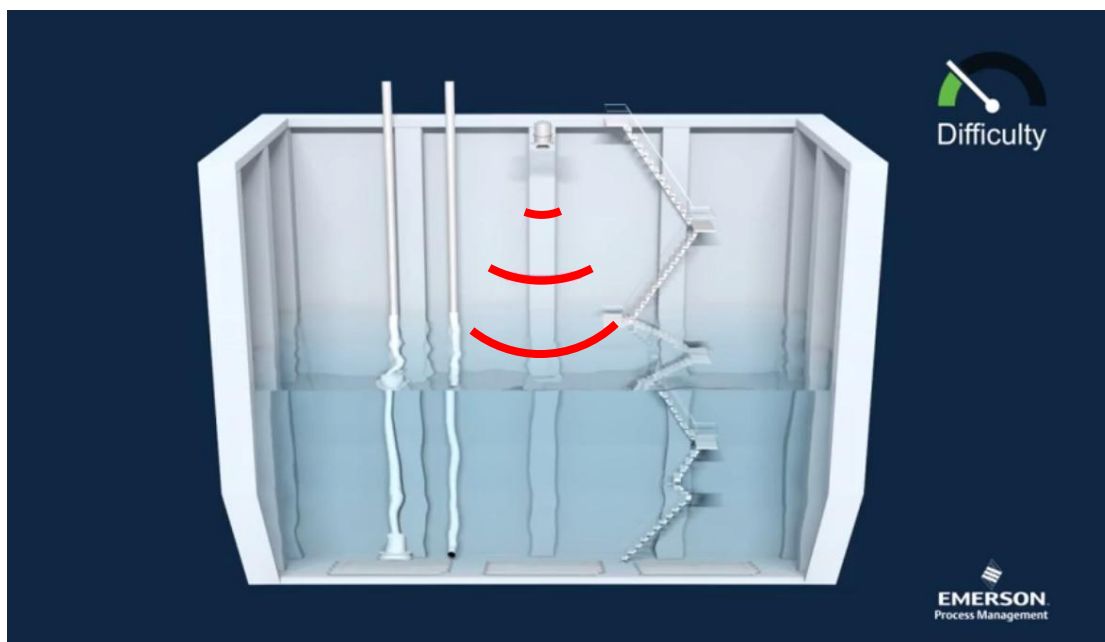
Σχήμα 23. πετρελαιοφόρο πλοίο

Μία τυπική μορφή μίας δεξαμενής φαίνεται στο σχήμα 24, οι ανινχευτές είναι τοποθετημένοι στο πάνω μέρος της δεξαμενής.



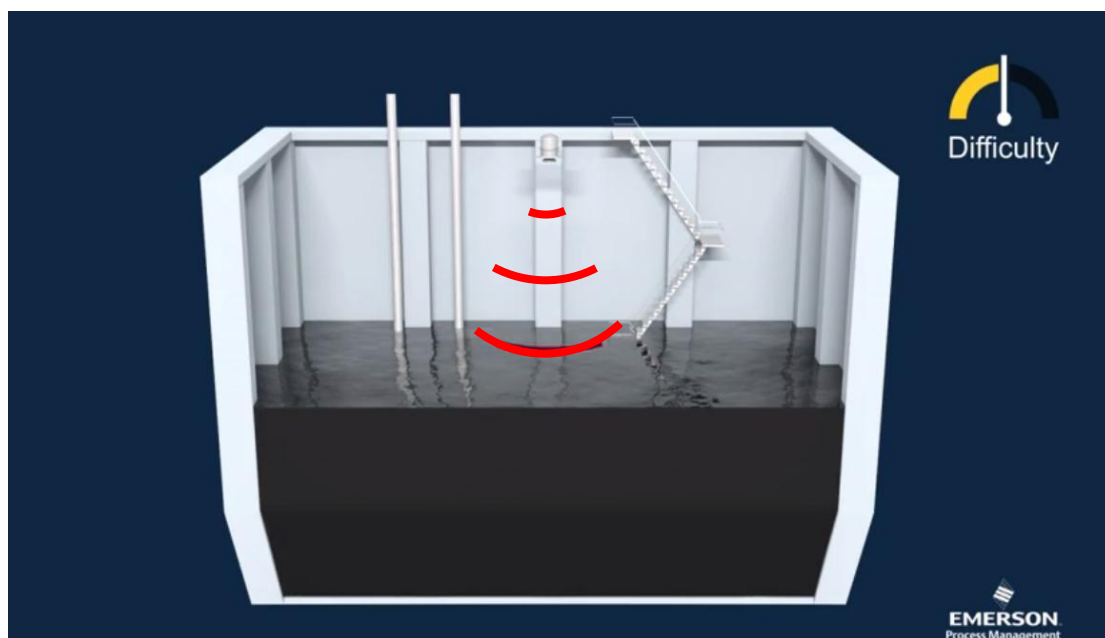
Σχήμα 24. δεξαμενή φορτίου

Όταν η δεξαμενή έχει νερό και το πλοίο είναι σταθερό η μέτρηση της στάθμης είναι σχετικά εύκολη, αυτό το βλέπουμε στο επόμενο σχήμα.



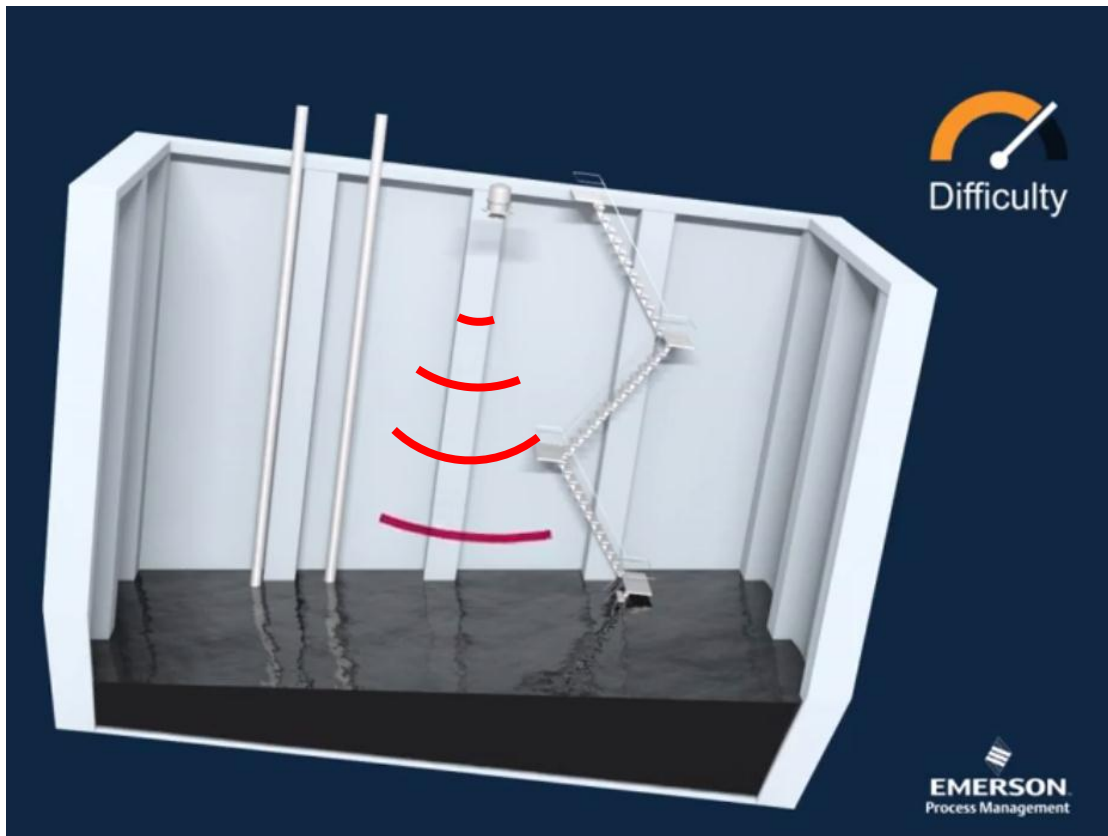
Σχήμα 25. δεξαμενή φορτίου με νερό

Όταν η δεξαμενή έχει πετρέλαιο, λόγω διαφορετικών ιδιοτήτων πυκνότητας και ιξώδους η μέτρηση γίνεται λίγο πιο δύσκολη, αυτό το βλέπουμε στο επόμενο σχήμα.



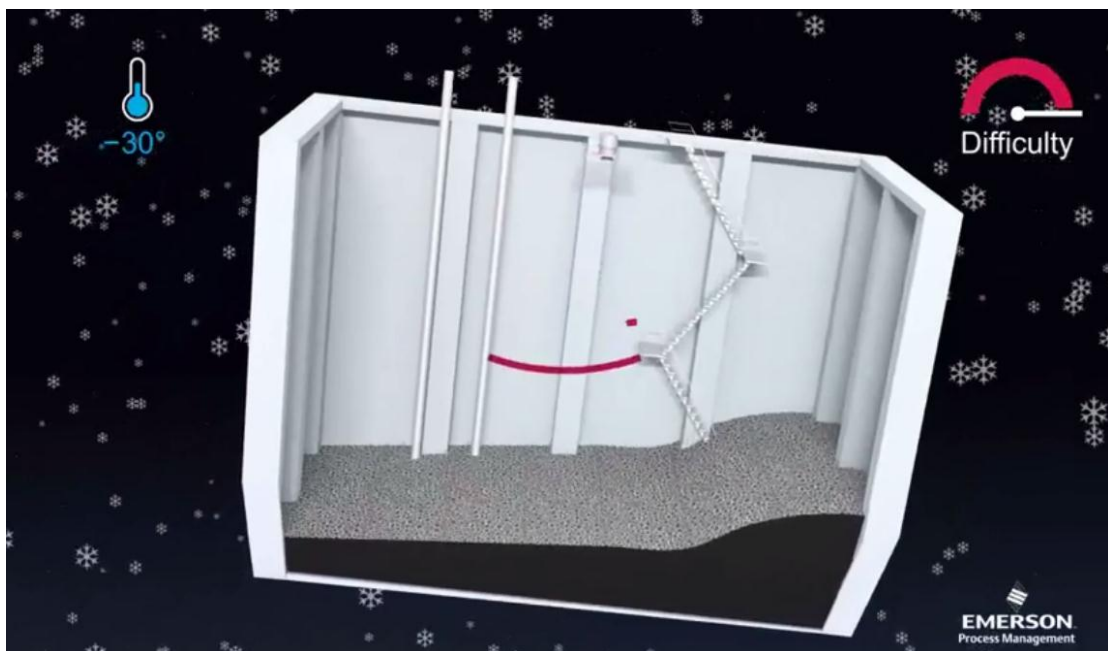
Σχήμα 26. δεξαμενή φορτίου με πετρέλαιο

Η κατάσταση χειροτερεύει όταν το πλοίο κουνιέται από τα κύματα της θάλασσας με αποτέλεσμα η στάθμη της δεξαμενής να μην παραμένει σταθερή.



Σχήμα 27. δεξαμενή φορτίου με πετρέλαιο όταν το πλοίο κουνάει

Τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο δύσκολα όταν υπάρχουν και έντονες καιρικές συνθήκες με ψύχος.



Σχήμα 28. δεξαμενή φορτίου με πετρέλαιο όταν το πλοίο κουνάει και οι καιρικές συνθήκες είναι κακές.

Για το λόγο αυτό τα συστήματα ελέγχου της στάθμης του φορτίου πρέπει να είναι αξιόπιστα και ελεγμένα σε όλες τις καταστάσεις που μπορεί να βρισκείτε το πλοίο.

Βιβλιογραφία

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- [2] Φλόκα Αθ. Απόστολου. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. 1992.
- [3] Αθανάσιος Α. Αργυρίου, Αισθητήρες ημιαγωγών, αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες, Σημειώσεις, Πάτρα 2004
- [4] <http://blog.asautoparts.com/5-common-symptoms-of-faulty-car-sensors/>
- [5] <http://smarthomeenergy.co.uk/what-smart-home>
- [6] <http://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/ship-sensor-21571.html>
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>
- [8] <http://2012ojhswaves.weebly.com/sonar.html>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect
- [10] http://mail.iii.net.au/tools/wiki/index.php/Ultrasonic_Level_Sensors
- [11] <http://www.emerson.com/catalog/en-us/automation-solutions/measurement-instrumentation/level/rosemount-3100-level-ultrasonic-transmitter>
- [12] <http://www.emerson.com/>