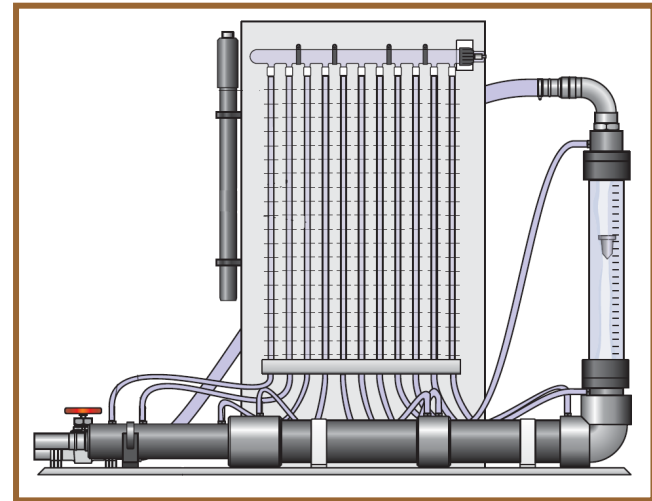
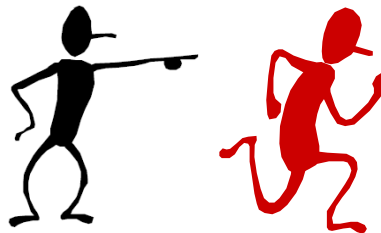


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ & ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Λάμπρος Μπισδούνης
Καθηγητής



7^η ενότητα ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗΣ



Περιεχόμενα 7^{ης} ενότητας και εισαγωγή

- Η ενότητα περιγράφει τους **αισθητήρες/μετρητές** που ανιχνεύουν/ μετρούν τη **στάθμη υγρών** και την **πίεση υγρών** και **αερίων**, καθώς και τις **αρχές λειτουργίας** τους.
- Μέτρηση στάθμης:
 - ✓ Δοχείο παρατήρησης, ράβδος βυθομέτρησης, μετρητές με πλωτήρα, βελόνα χωρητικότητας, βελόνα αγωγιμότητας, μετρητής υπερήχων, μετρητής φουσαλίδων, μέτρηση στάθμης με αισθητήρες πίεσης.
- Μέτρηση πίεσης:
 - ✓ Μανόμετρα υγρού: υοειδούς και κεκλιμένου σωλήνα.
 - ✓ Ελαστικοί αισθητήρες πίεσης: μετρητής με σωλήνα Bourdon, φουσητήρας, χωρητικοί αισθητήρες πίεσης, πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης, αισθητήρες πίεσης με πιεζοαντιστάσεις (μετρητές μηχανικής τάσης).
 - ✓ Βαρόμετρα.
- Συμπεράσματα, ερωτήσεις και ασκήσεις.

Μέτρηση στάθμης

- Η έννοια της **ποσότητας** μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια του ύψους **στάθμης**, του **όγκου**, της **μάζας** και του **βάρους** ($B = m \cdot g$), οι οποίες είναι διαφορετικές φυσικές παράμετροι, αλλά σχετίζονται μεταξύ τους.
- Για παράδειγμα ένα διαφανές δοχείο γνωστών διαστάσεων (π.χ. κυλινδρικό, όπως ο απλός **ογκομετρικός κύλινδρος**) μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες μήκους (mm), όγκου (mm^3), μάζας (kg) ή βάρους (N), ανάλογα με την πληροφορία που επιθυμούμε στην εκάστοτε εφαρμογή.
- Εάν το δοχείο έχει ομοιόμορφη διατομή η κλίμακα θα είναι γραμμική, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η κλίμακα θα είναι μη γραμμική.
- **Μηνίσκος** είναι η καμπύλη που φαίνεται στην κορυφή ενός υγρού σε δοχείο. Μπορεί να είναι κοίλος (έλξη μορίων υγρού από τα τοιχώματα), κυρτός (έλξη μορίων υγρού μεταξύ τους) ή επίπεδος, ανάλογα με την επιφανειακή τάση υγρού και το υλικό του δοχείου.
- Η μέτρηση στάθμης πρέπει να λαμβάνεται στο κέντρο του κοίλου ή κυρτού μηνίσκου.

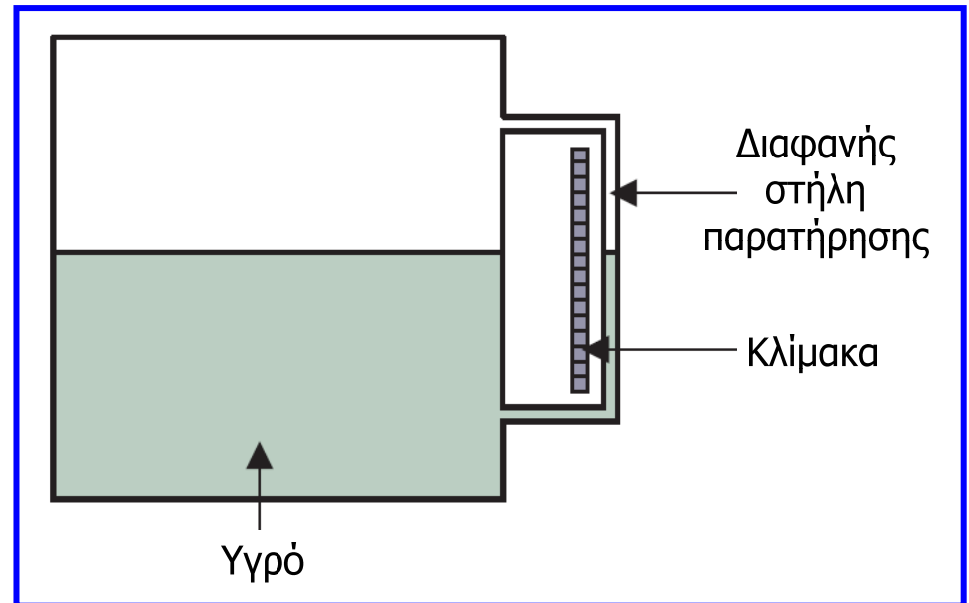


Μέτρηση στάθμης

- Φυσικά, ο ίδιος όγκος διαφορετικών υγρών αντιστοιχεί σε διαφορετική μάζα και βάρος λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων των υγρών ($\rho = m / V$).
- Για παράδειγμα 1 λίτρο νερού αντιστοιχεί σε μάζα 1 kg και βάρος 9.81 N, 1 λίτρο υδράργυρου σε μάζα 13.6 kg και βάρος 133.4 N και 1 λίτρο λαδιού σε μάζα 900 gr και βάρος 8.83 N.
- Η πυκνότητα των υγρών μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αφού προκαλείται διαστολή.
- Επίσης, η πυκνότητα των υγρών αυξάνεται όταν αυξάνεται η πίεση.
- Συνεπώς, θα πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων στις οποίες πρέπει να βρίσκεται το προς μέτρηση υγρό, ώστε η υπάρχουσα κλίμακα να δίνει ακριβείς μετρήσεις.
- Η φυσική παράμετρος της στάθμης μπορεί λοιπόν να συσχετιστεί με όγκο, μάζα ή βάρος και επομένως μετρώντας την μπορούμε να υπολογίσουμε και τις παραμέτρους αυτές.

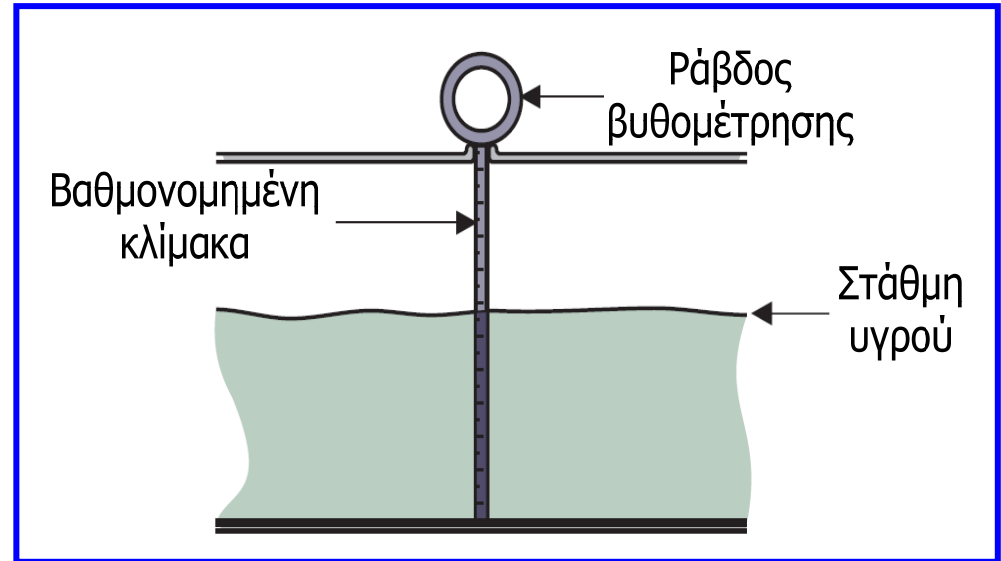
Δοχείο παρατήρησης

- Απλή και χαμηλού κόστους μέθοδος μέτρησης στάθμης υγρού σε δοχείο.
- Επιτρέπει τη χρήση αδιαφανών υλικών για την κατασκευή του δοχείου σε αντίθεση με τον ογκομετρικό κύλινδρο και επομένως τη δημιουργία ανθεκτικότερων και φθηνότερων κατασκευών.
- Η ακρίβεια μέτρησης εξαρτάται από την ικανότητα του χρήστη, το βαθμό ακρίβειας της χαραγμένης κλίμακας στη στήλη παρατήρησης, τη διάμετρο της στήλης και το είδος του υγρού.
- Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου δεν είναι απαραίτητη υψηλή ακρίβεια, όπως αποθήκευση πετρελαίου σε δεξαμενές και οικιακές συσκευές πετρελαίου.



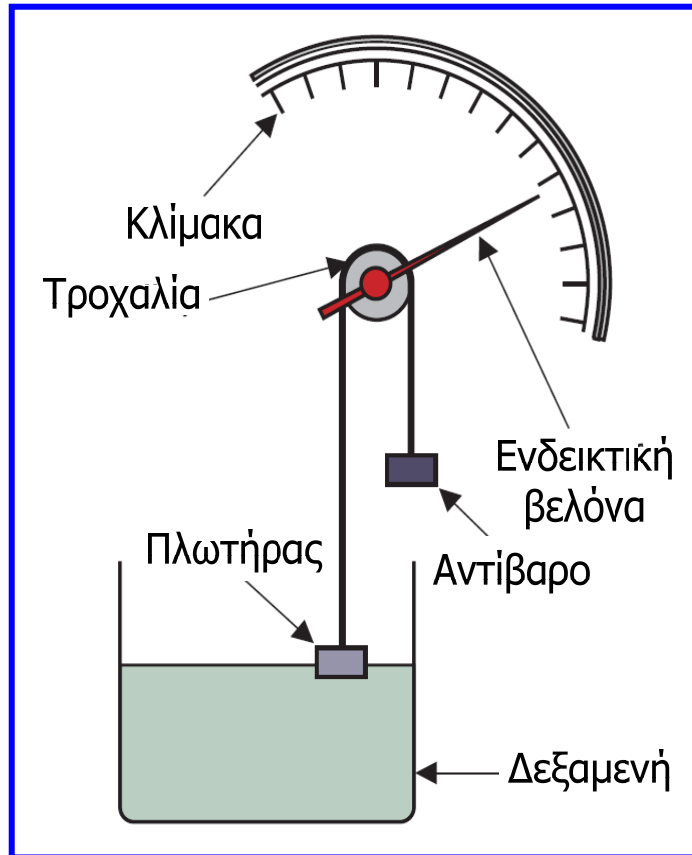
Ράβδος βυθομέτρησης

- Απλή, φθηνή και χωρίς υψηλή ακρίβεια μέθοδος προσδιορισμού στάθμης υγρού
- Μια λεπτή ράβδος με χαραγμένη πάνω της την κλίμακα, βυθίζεται κάθετα στη δεξαμενή υγρού μέχρι να συναντήσει τον πυθμένα της δεξαμενής.
- Στη συνέχεια αποσύρεται και ελέγχεται μέχρι ποιο σημείο της ράβδου έχει φθάσει το υγρό για να προσδιοριστεί η στάθμη του υγρού.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε **τοπικές μετρήσεις**, αφού για να παράσχει μέτρηση θα πρέπει να αποσυρθεί από το χρήστη.
- **Χρήσεις**: μέτρηση στάθμης καυσίμων με ράβδο βαθμονομημένη σε μονάδες όγκου ώστε να δείχνει την ποσότητα καυσίμου που απομένει, μηχανές αυτοκινήτων όπου η ράβδος διαθέτει δύο ενδείξεις (min, max) που δείχνουν την ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπτή στάθμη λαδιού.



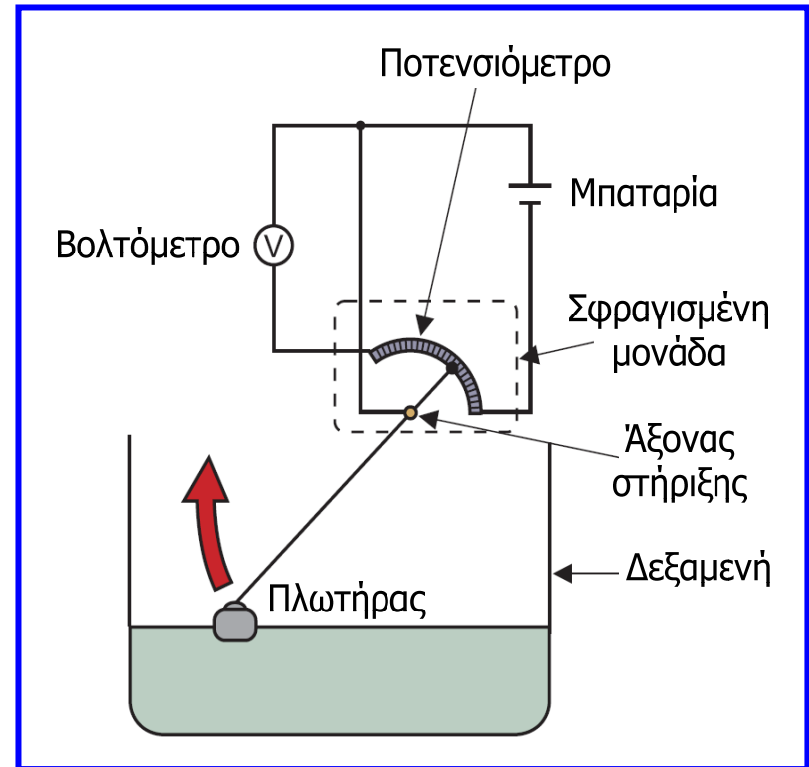
Μετρητής με πλωτήρα και αντίβαρο

- Η κίνηση του πλωτήρα ακολουθεί τη μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού και επομένως κινεί την ενδεικτική βελόνα, η οποία δείχνει σε κλίμακα που μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες όγκου, μάζας ή ύψους.
- Η μέθοδος μπορεί να δώσει ακριβείς μετρήσεις ανάλογα με το μήκος και την ανάλυση της κλίμακας (δηλ. το πλήθος των ενδείξεων βαθμονόμησης που περιέχει η κλίμακα).



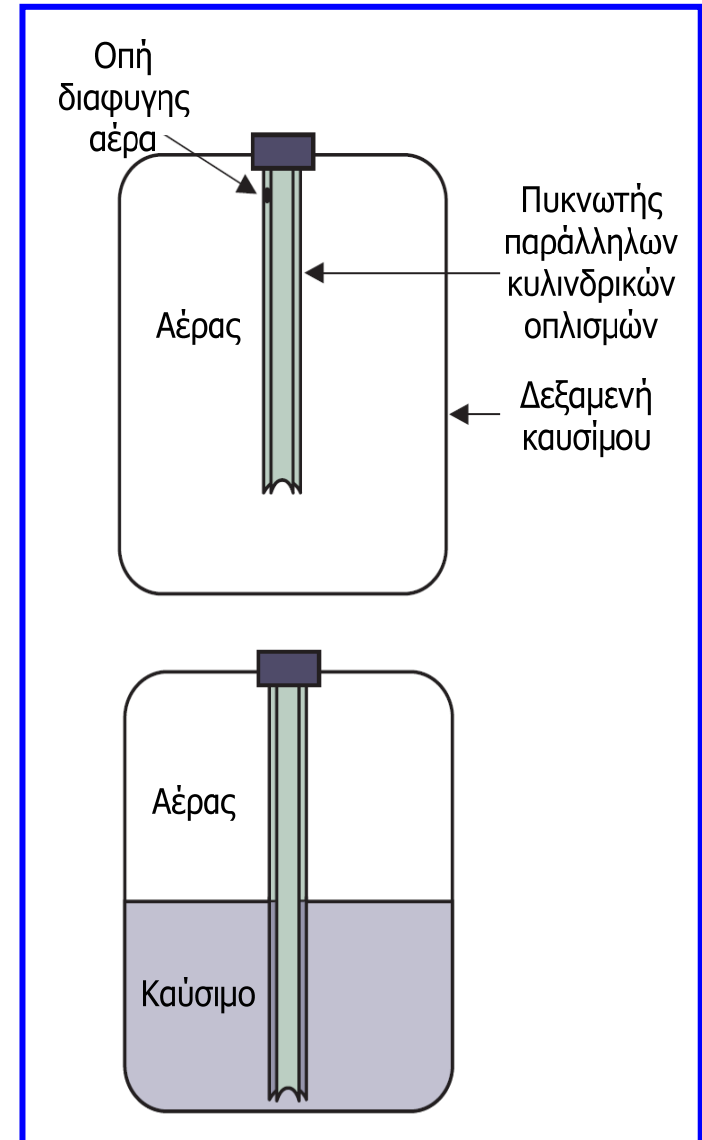
Ηλεκτρικός μετρητής με πλωτήρα

- Ο πλωτήρας ακολουθεί τη μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού και η κίνησή του προκαλεί γωνιακή μετατόπιση της κινητής επαφής ενός ποτενσιόμετρου.
- Η **διαφορά δυναμικού** που μετρείται στο βολτόμετρο είναι **ανάλογη** της στάθμης του υγρού.
- Η κλίμακα του βολτομέτρου μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες όγκου, μάζας ή ύψους.
- Επειδή το σήμα που λαμβάνεται από τον μετρητή είναι ηλεκτρικό, μπορεί να ρυθμιστεί για τη **λήψη μετρήσεων από απόσταση**, καθώς και να χρησιμοποιηθεί ως **σήμα ανάδρασης** σε ένα **σύστημα ελέγχου**.



Βελόνα ή μετρητής χωρητικότητας

- Παρέχουν **ασφάλεια** και έτσι χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της **στάθμης καυσίμου** στα αεροσκάφη.
- Αποτελούνται από δύο κυλινδρικούς σωλήνες που βρίσκονται ο ένας μέσα στον άλλο και σχηματίζουν πυκνωτή στο εσωτερικό της δεξαμενής που τοποθετούνται για τη μέτρηση στάθμης.
- Το κενό μεταξύ των δύο οπλισμών (σωλήνων) είναι αρχικά αέρας και όσο ανεβαίνει η στάθμη γεμίζει με υγρό.
- Όσο γεμίζει η δεξαμενή, η **χωρητικότητα αλλάζει** αφού το υγρό (π.χ. καύσιμο) έχει υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από τον αέρα και η αλλαγή της χωρητικότητας είναι ανάλογη με το ύψος της στάθμης του υγρού.
- Έτσι οποιαδήποτε αλλαγή χωρητικότητας μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην τάση της διάταξης μέτρησης χωρητικότητας, από την οποία μπορεί να οδηγηθεί κάποια συσκευή ελέγχου.
- Επειδή χρησιμοποιείται σε καύσιμα, θα πρέπει κατά την κατασκευή της να ληφθούν υπόψη παράγοντες διάβρωσης και πιθανής διαρροής.



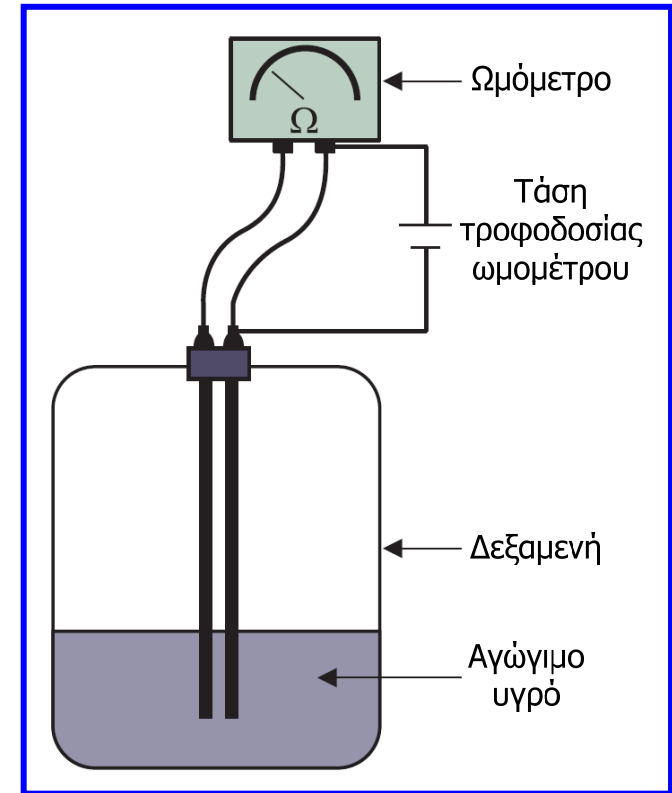
Βελόνα ή μετρητής χωρητικότητας



Εφαρμογή βελόνας χωρητικότητας
σε δεξαμενή καυσίμων

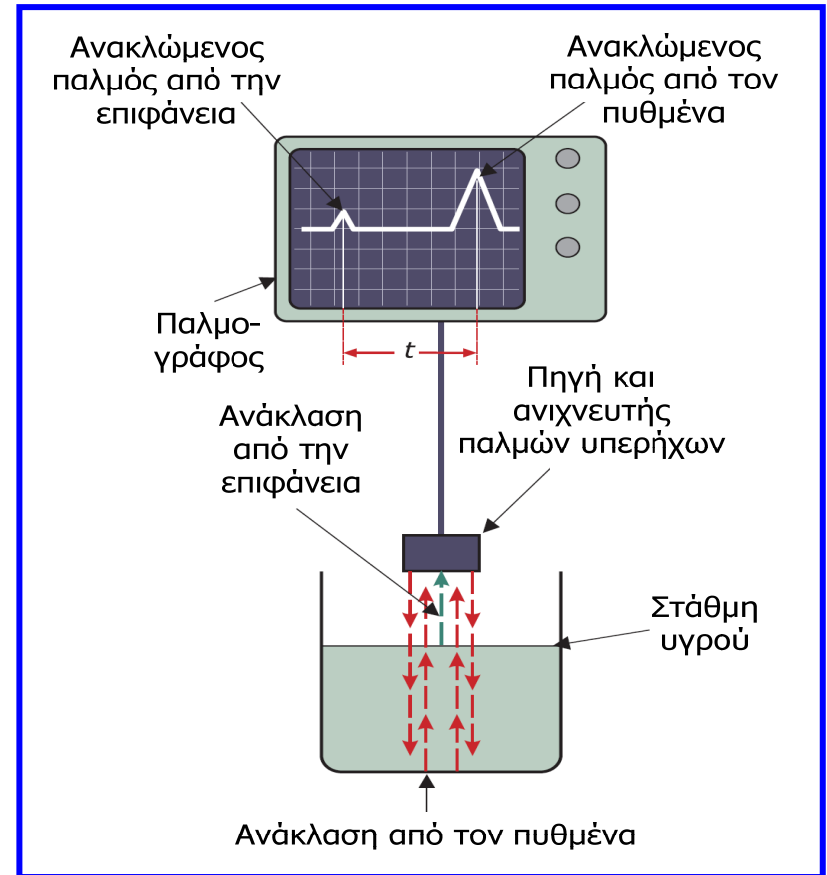
Βελόνα ή μετρητής αγωγιμότητας

- Αντί να μετράμε αλλαγή χωρητικότητας μπορούμε να μετρήσουμε την **αλλαγή αντίστασης** λόγω της παρουσίας ηλεκτρικά αγώγιμου ρευστού.
- Η βελόνα αγωγιμότητας αντιλαμβάνεται την αλλαγή της αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της, καθώς μεταβάλλεται η στάθμη του υγρού.
- Τα ηλεκτρόδια συνδέονται σε ωμόμετρο που μπορεί να βαθμονομηθεί σε κατάλληλες μονάδες ώστε να λειτουργεί ως δείκτης ποσότητας, καθώς και να συνδεθεί σε κάποια συσκευή ελέγχου.
- Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διάβρωση, η διαρροή, αλλά και η αγωγιμότητα του υγρού, αφού οι **περιβαλλοντικές συνθήκες** (π.χ. θερμοκρασία, ύπαρξη προσμίξεων) επηρεάζουν την αγωγιμότητα του υγρού κι επομένως το σύστημα μέτρησης.
- Υπάρχει **κίνδυνος εκκένωσης** (σπινθήρα) μεταξύ των άκρων των ηλεκτροδίων λόγω της διαφοράς δυναμικού, όταν οι άκρες είναι ακάλυπτες και αυτό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη μέτρηση στάθμης εύφλεκτων υγρών.



Μετρητής υπερήχων

- Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος των υπερήχων (ultrasonic), εκπέμπονται προς το υγρό παλμοί υπερήχων και ένα μικρό ποσοστό αυτών ανακλάται προς τα πίσω από την επιφάνεια του υγρού.
- Το υπόλοιπο των παλμών ανακλάται από τη βάση του δοχείου και οι δύο ανακλώμενοι παλμοί μπορούν να απεικονισθούν στην οθόνη ενός παλμογράφου ή άλλης συσκευής απεικόνισης.
- Η διαφορά στο χρόνο άφιξης των δύο παλμών σχετίζεται άμεσα με το βάθος του υγρού που μετριέται και έτσι είναι δυνατή η βαθμονόμηση της οθόνης με βάση το βάθος (στάθμη) ή τον όγκο.
- Η τεχνική αυτή παρέχει **μεγάλη ακρίβεια** και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος τιμών βάθους και **χωρίς άμεση επαφή με το υγρό**, αλλά με **αυξημένο κόστος**.
- **Χρήσεις:** δεν περιορίζονται στη μέτρηση στάθμης υγρών, μέτρηση αποστάσεων, θαλάσσιες βυθομετρήσεις, ιατρικός εξοπλισμός, χημική βιομηχανία, βιομηχανία τροφίμων.

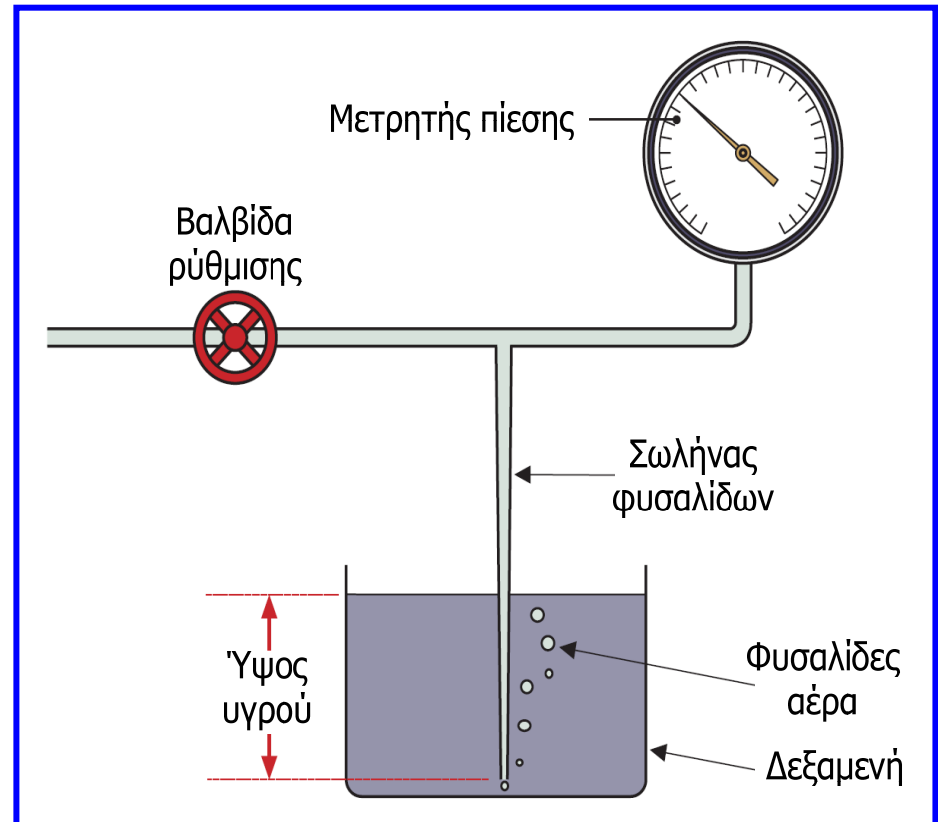


Μετρητής υπερήχων



Μετρητής φυσαλίδων

- Η πίεση του αέρα στο σωλήνα των φυσαλίδων ρυθμίζεται με τη βοήθεια της βαλβίδας ρύθμισης μέχρι να εμφανιστούν φυσαλίδες στο κάτω άκρο του σωλήνα φυσαλίδων.
- Ο μετρητής πίεσης μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες για μέτρηση ύψους στάθμης ή όγκου, αφού η πίεση στην οποία εμφανίζονται οι φυσαλίδες είναι ανάλογη του ύψους στάθμης του υγρού μέσα στο δοχείο.
- Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις με το μειονέκτημα ότι όπως και στη ράβδο βυθομέτρησης, η μέθοδος απαιτεί παρέμβαση του χρήστη.



Μέτρηση στάθμης με αισθητήρες πίεσης

- Σε κάποιες περιπτώσεις λήψης μετρήσεων στάθμης, όγκου ή βάρους όπου απαιτείται δημιουργία ηλεκτρικού σήματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι περιγράφονται στη συνέχεια αυτής της ενότητας.
- Σε ένα αισθητήρα πίεσης, η **πίεση** χρησιμοποιείται για να **προκαλεί μετατόπιση** σε ένα διάφραγμα και η **μετατόπιση** αυτή **δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της πίεσης**, μέσω συσκευών όπως ο μετρητής μηχανικής τάσης.
- Οι αισθητήρες πίεσης τοποθετούνται στον πυθμένα μιας δεξαμενής, στην οποία θέλουμε να μετρήσουμε το ύψος της στάθμης του περιεχόμενου υγρού.
- Κάθε αλλαγή του ύψους παράγει μία ανάλογη μεταβολή στην έξοδο του αισθητήρα.

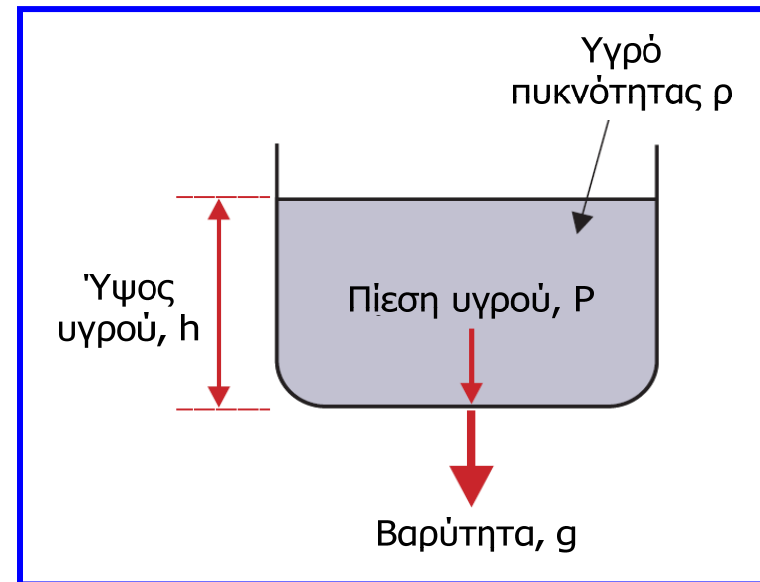
$$P = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow h = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

ρ : πυκνότητα υγρού (kg/m^3)

g : επιτάχυνση βαρύτητας (9.81 m/sec^2)

h : ύψος στάθμης υγρού (m)

Το h είναι ανάλογο της P , εφόσον τα ρ και g είναι σταθερά για δεδομένο υγρό και δεξαμενή σταθερής διατομής.



Μέτρηση πίεσης

- **Πίεση** είναι το μέτρο της δύναμης που ασκείται πάνω σε μια επιφάνεια: $P = F / S$, όπου S είναι το **εμβαδόν επιφάνειας** που ασκείται η **δύναμη** F .
- Όταν η δύναμη παράγεται από ρευστό (π.χ. αέριο ή υγρό) τότε αναφερόμαστε σε **πίεση**, ενώ όταν η δύναμη προκαλείται από ή ασκείται σε στερεό αντικείμενο, αναφερόμαστε σε **μηχανική τάση**: $\varepsilon = F / (S \cdot E)$, δηλαδή στο **λόγο** της **πίεσης** προς το **μέτρο ελαστικότητας** (E) του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το στερεό αντικείμενο.
- Επειδή ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει βάρος, οτιδήποτε βρίσκεται επάνω στην επιφάνεια της γης υφίσταται πίεση (**ατμοσφαιρική πίεση**) και λόγω του ότι η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται με το ύψος δεν είναι πάντα σκόπιμο να μετρούμε την απόλυτη πίεση.
- Για μέτρηση της πίεσης χρησιμοποιείται συχνά ως **πίεση αναφοράς** η ατμοσφαιρική πίεση και τότε η μέτρηση δεν είναι απόλυτη, αφού η απόλυτη πίεση μετριέται με αναφορά στη μηδενική πίεση (απόλυτο κενό).
- Τότε η **απόλυτη πίεση** είναι το **άθροισμα** της **μετρούμενης πίεσης** και της **ατμοσφαιρικής**.
- Η **μονάδα** της **πίεσης** στο διεθνές σύστημα (SI) είναι το **Pascal (Pa)** = 1 N/m^2 .
- Η πίεση εκφράζεται και σε άλλες μονάδες μέτρησης όπως είναι το **bar**, τα χιλιοστόμετρα υδραργύρου (**mmHg** ή **torr**) και η ατμόσφαιρα (**atm**): $1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$, $1 \text{ torr} = 133,32 \text{ Pa}$, $1 \text{ atm} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ = τυπική τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.

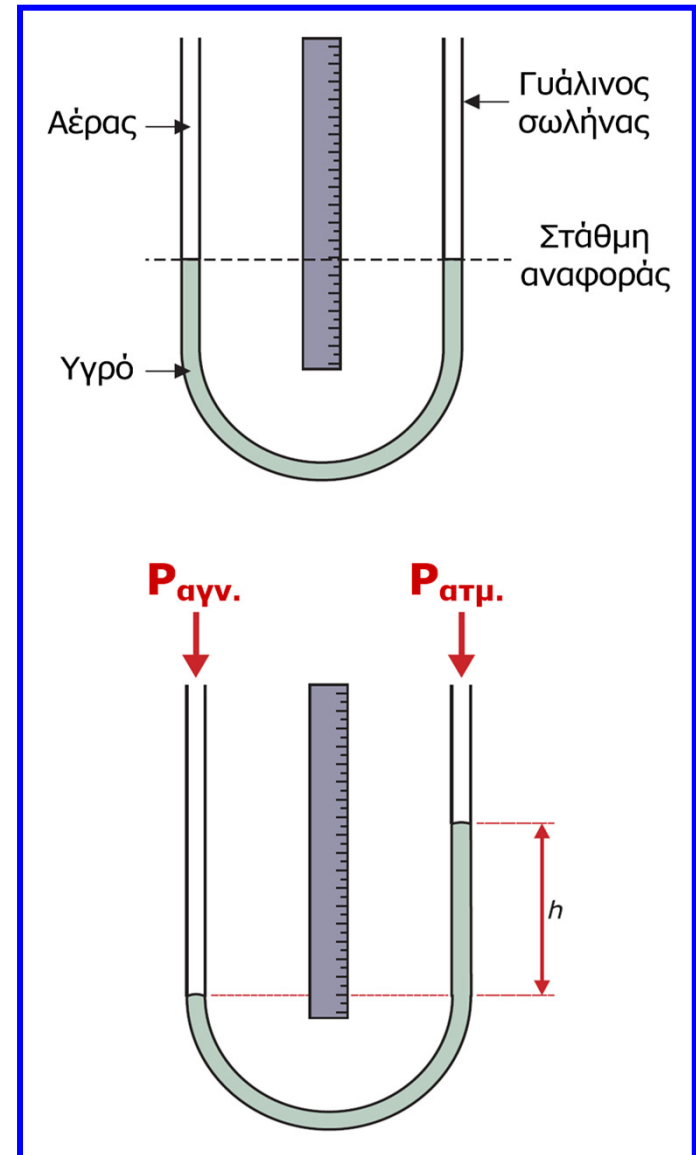
Μανόμετρα υγρού

- Τεχνικά, ο όρος **μανόμετρο (manometer)** περιγράφει οποιαδήποτε συσκευή μετράει πίεση.
- Ωστόσο, ο όρος χρησιμοποιείται συνήθως για **αισθητήρες πίεσης** που **αντιλαμβάνονται** τις **αλλαγές πίεσης** με τη βοήθεια **υγρού** σε **σωλήνα**.
- Τα μανόμετρα είναι **διαφορικοί αισθητήρες πίεσης**, δηλαδή μετρούν τη διαφορά ανάμεσα στην πίεση που εφαρμόζεται και μία πίεση αναφοράς που είναι συνήθως η ατμοσφαιρική πίεση.
- Ο όρος **διαφορική πίεση** χρησιμοποιείται όταν **συγκρίνεται** μία **πίεση** με κάποια **άλλη πίεση (αναφοράς)**.
- Χρησιμοποιούνται συνήθως δύο τύποι μανομέτρων:
 - ✓ **Μανόμετρο υοειδούς σωλήνα** ή **υοειδές μανόμετρο (U-tube manometer)**, το οποίο αποτελεί διαφορικό αισθητήρα πίεσης που χρησιμοποιεί σωλήνα σχήματος U.
 - ✓ **Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα (inclined-tube manometer)**, το οποίο αποτελεί επίσης διαφορικό αισθητήρα πίεσης μεγαλύτερης ακρίβειας.

Υοειδές μανόμετρο

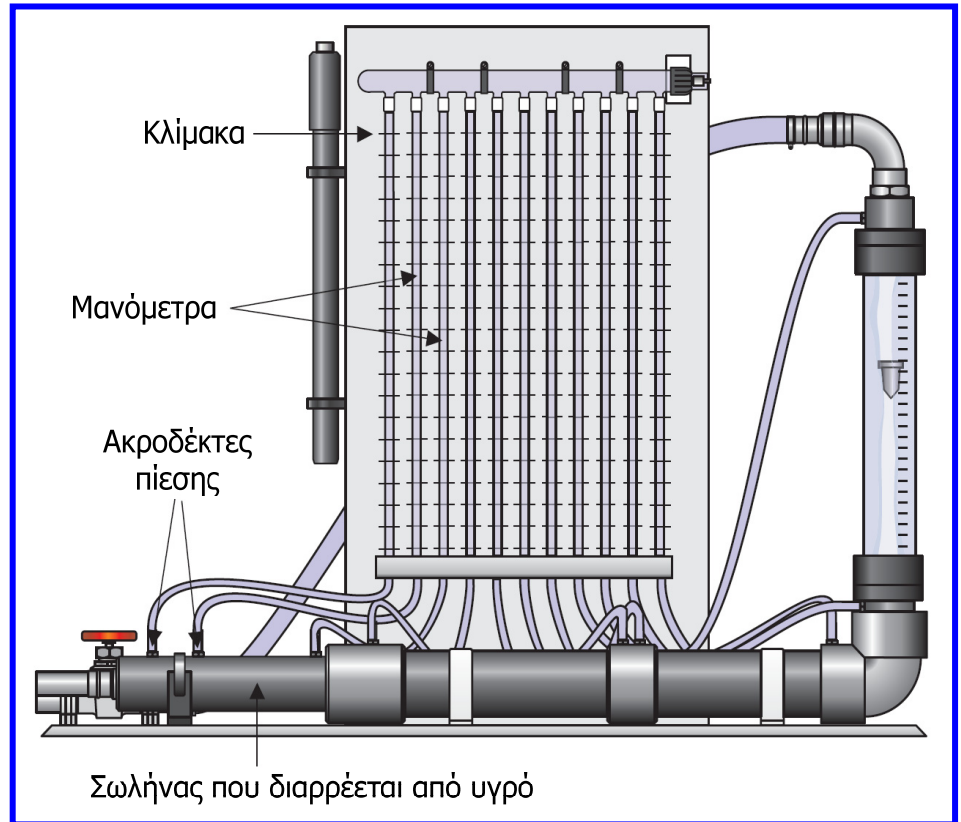
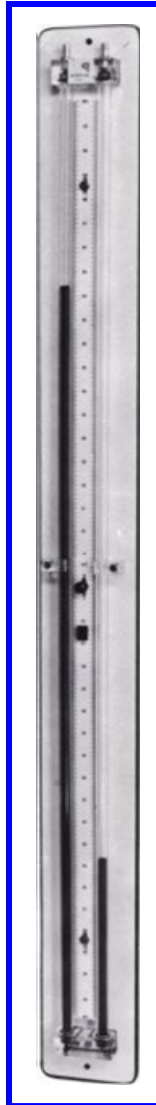
- Αποτελείται από διάφανο σωλήνα με κάποιο υγρό (νερό ή αλκοόλη).
- Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του υγρού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία του οργάνου ($P = \rho \cdot h \cdot g$).
- Στο ένα σκέλος του σωλήνα εφαρμόζεται η άγνωστη πίεση, ενώ στο άλλο δεν εφαρμόζεται πίεση και αυτό δέχεται μόνο την ατμοσφαιρική πίεση.
- Η άγνωστη πίεση αναγκάζει το υγρό να κινηθεί προς τα πάνω στο άλλο σκέλος, επομένως το ύψος της στάθμης στις δύο σκέλη του σωλήνα δεν είναι το ίδιο.
- Η διαφορά h ανάμεσα στο ύψος στάθμης στα δύο σκέλη του σωλήνα είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της άγνωστης πίεσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης (διαφορική πίεση):

$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\text{αγν.}} - P_{\text{ατμ.}} = \rho \cdot g \cdot h$$
$$\Rightarrow P_{\text{αγν.}} = P_{\text{ατμ.}} + \rho \cdot g \cdot h$$



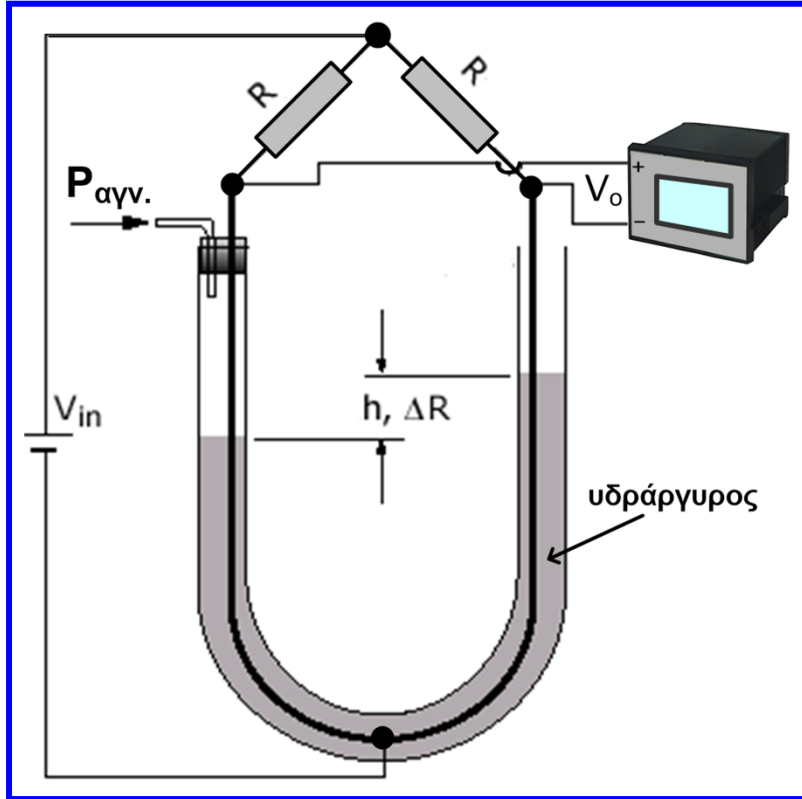
Υοειδές μανόμετρο

- Η ακρίβεια των υοειδών μανομέτρων εξαρτάται από το σφάλμα που υπεισέρχεται από την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που χρησιμοποιείται και από την ικανότητα του χρήστη να εκτιμήσει τη διαφορά ύψους των σταθμών.
- Συνήθως, χρησιμοποιείται κλίμακα διπλασιασμού στο δεξί σκέλος του σωλήνα, αφού η αύξηση του ύψους στο σκέλος αυτό προκαλεί ίση μείωση στο άλλο άκρο.
- Χρησιμοποιείται σε εργαστήρια, δεν παρέχουν μετρήσεις από απόσταση και δημιουργούνται δυσκολίες όταν η πίεση μεταβάλλεται απότομα.



Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιεί μανόμετρο πολλαπλών σωλήνων (μανόμετρο με πολλαπλά σκέλη) που ισοδυναμεί με σειρά ανεστραμμένων μανομέτρων

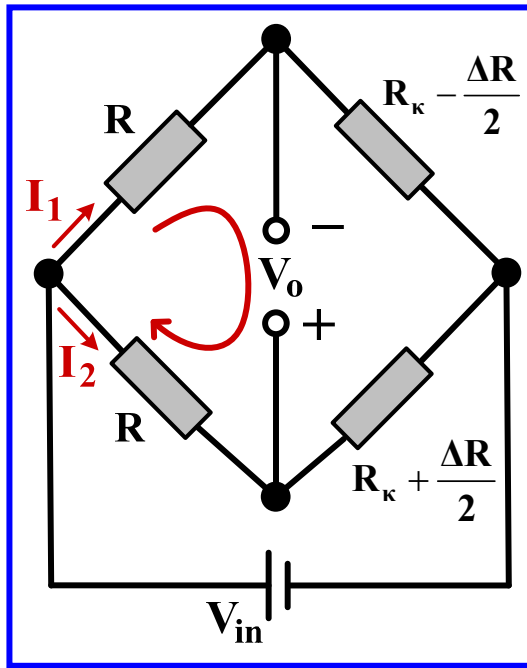
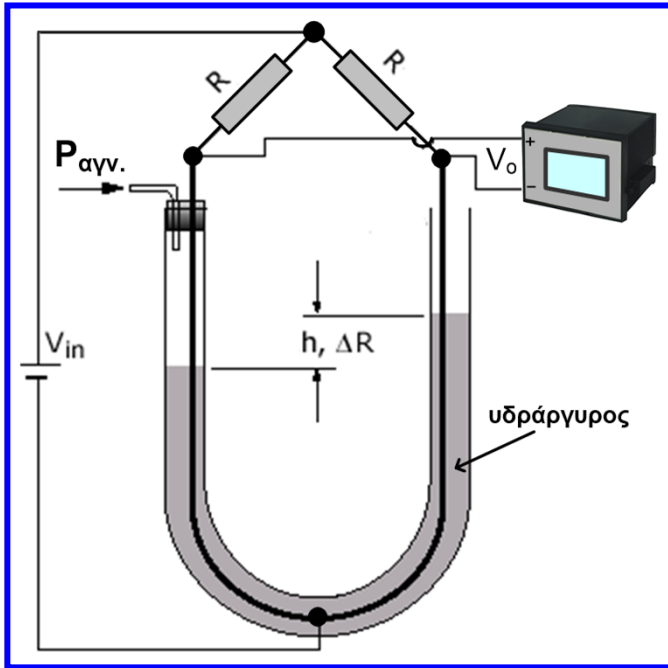
Εφαρμογή υοειδούς μανομέτρου



- Στο μανόμετρο είναι βυθισμένο ένα ηλεκτρόδιο υοειδούς σχήματος, το οποίο δημιουργεί αντιστάσεις στα δύο σκέλη του μανόμετρου, οι οποίες σχηματίζουν γέφυρα Wheatstone με δύο όμοιες αντιστάσεις.
- Τα μέρη του ηλεκτροδίου που δεν είναι βυθισμένα στον υδράργυρο διαρρέονται από ρεύμα και δημιουργούν αντιστάσεις στο κύκλωμα.
- Ωστόσο, τα βυθισμένα μέρη του ηλεκτροδίου δεν διαρρέονται από ρεύμα, αφού το ρεύμα μεταφέρεται μέσω του υδράργυρου που παρουσιάζει υψηλή αγωγιμότητα.

- Έτσι, το ηλεκτρόδιο διακρίνεται σε δύο αντιστάσεις, η τιμή των οποίων εξαρτάται από το μήκος του ηλεκτροδίου που δεν είναι βυθισμένο στον υδράργυρο.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η διαφορά των αντιστάσεων αυτών, να είναι ανάλογη με το διάστημα h και επομένως και με τη διαφορική πίεση του μανομέτρου.
- Όταν η διαφορική πίεση στο μανόμετρο είναι μηδενική, η γέφυρα ισορροπεί ($V_o = 0$).

Εφαρμογή υοειδούς μανομέτρου



$$P_{\text{διαφ.}} = c \cdot \Delta R$$

Η σταθερά c εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροδίου και του μανομέτρου.

$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\text{αγν.}} - P_{\text{ατμ.}} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$c \cdot \Delta R = \rho \cdot g \cdot h$$

$$I_1 \cdot R - V_0 - I_2 \cdot R = 0 \Rightarrow V_0 = (I_1 - I_2) \cdot R \Rightarrow V_0 = \frac{V_{\text{in}} \cdot R}{R + R_{\kappa} - \frac{\Delta R}{2}} - \frac{V_{\text{in}} \cdot R}{R + R_{\kappa} + \frac{\Delta R}{2}} \Rightarrow V_0 = \frac{V_{\text{in}} \cdot R \cdot \Delta R}{(R + R_{\kappa})^2 - \frac{\Delta R^2}{4}}$$

Η προσέγγιση είναι εφικτή διότι η μεταβολή της αντίστασης είναι μικρή

$$\Rightarrow V_0 \approx \frac{V_{\text{in}} \cdot R \cdot \Delta R}{(R + R_{\kappa})^2} \Rightarrow \Delta R = \frac{(R + R_{\kappa})^2 \cdot V_0}{R \cdot V_{\text{in}}} \Rightarrow \frac{P_{\text{διαφ.}}}{c} = \frac{(R + R_{\kappa})^2 \cdot V_0}{R \cdot V_{\text{in}}} \Rightarrow P_{\text{διαφ.}} = \frac{(R + R_{\kappa})^2 \cdot c \cdot V_0}{R \cdot V_{\text{in}}}$$

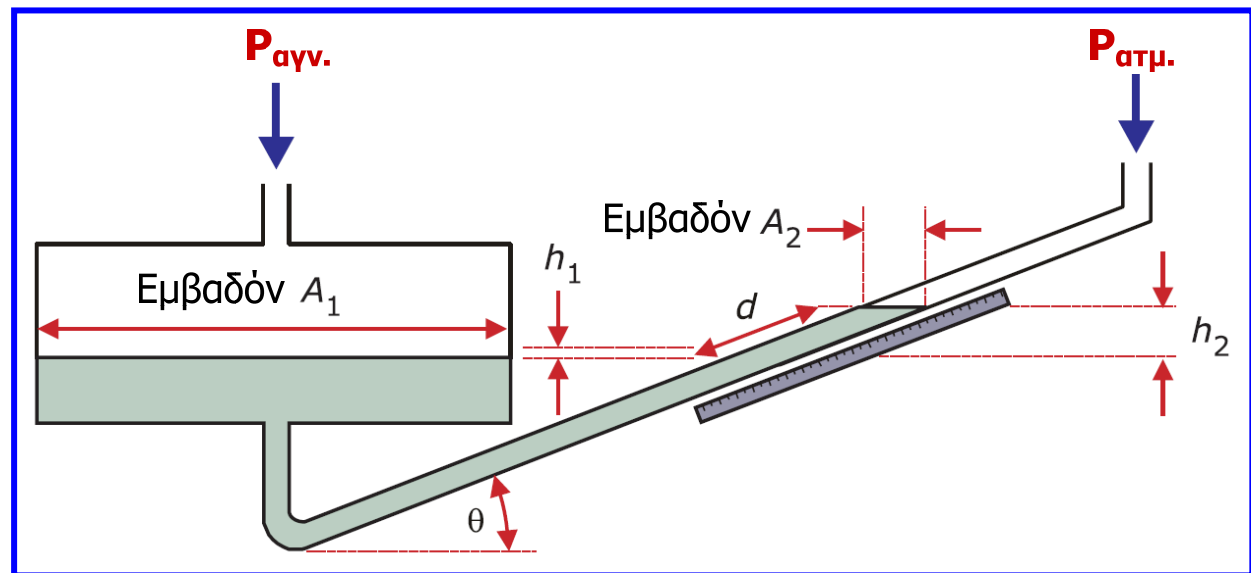
Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα

- Είναι **πιο ευαίσθητος διαφορικός αισθητήρας πίεσης**, επομένως καταλληλότερος για **μέτρηση χαμηλών πιέσεων** ή για μετρήσεις που απαιτούν **μεγαλύτερη ακρίβεια**.
- Τα δύο σκέλη είναι ανοιχτά στο πάνω μέρος (δέχονται δηλαδή ατμοσφαιρική πίεση), το ένα σκέλος καταλήγει σε δεξαμενή, ενώ το άλλο είναι διαφανές και κεκλιμένο με γνωστή **γωνία κλίσης θ** .
- Στο σκέλος που συνδέεται με τη δεξαμενή εφαρμόζεται η άγνωστη πίεση και η αλλαγή ύψους h_1 που προκύπτει στη δεξαμενή είναι σχετικά μικρή σε σχέση με την αλλαγή ύψους h_2 που προκύπτει στο κεκλιμένο σκέλος.

$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\text{αγν.}} - P_{\text{ατμ.}} =$$
$$\rho \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{A_2}{A_1} + \sin \theta \right) =$$
$$= \rho \cdot g \cdot d \cdot \sin \theta$$

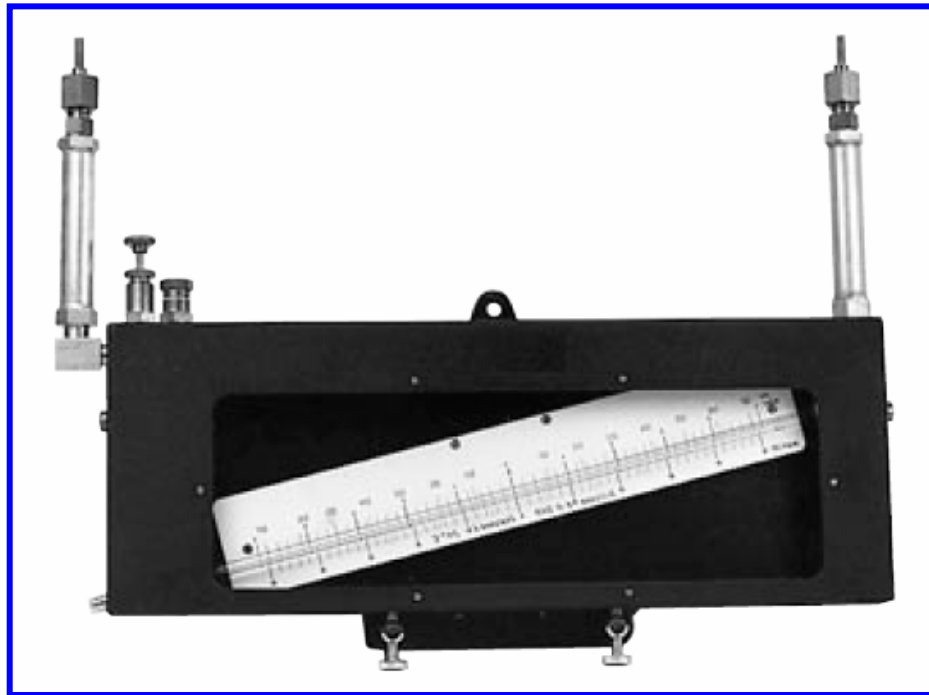
$$A_1 \gg A_2 \Rightarrow A_2/A_1 \approx 0$$

$$P_{\text{αγν.}} = P_{\text{ατμ.}} + \rho \cdot g \cdot d \cdot \sin \theta$$



Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα

- Το μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα μπορεί να είναι πιο ευαίσθητο, αλλά εάν το μήκος του κεκλιμένου σωλήνα δεν είναι αρκετά μεγάλο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος πιέσεων.
- Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές μέτρησης της πίεσης αερίων, όπου απαιτείται υψηλή ευαισθησία, χωρίς να παρέχει μετρήσεις από απόσταση.

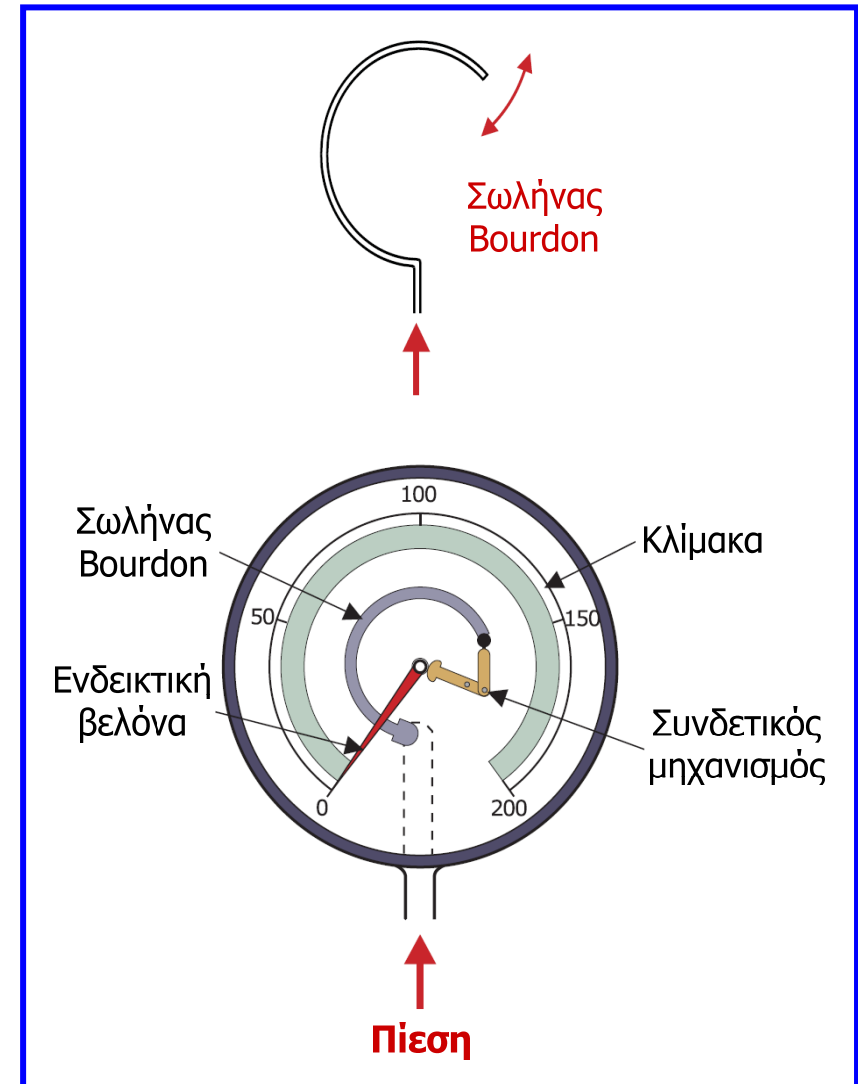


Ελαστικοί αισθητήρες πίεσης

- Αναφέρονται ως ελαστικοί, επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί ή παροδικά να παραμορφωθεί όταν του εφαρμόζεται πίεση.
- Οι αισθητήρες αυτοί αρχικά **μετατρέπουν** την **πίεση** σε **μετατόπιση** και στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες (μετρητές) μετατόπισης ώστε να ληφθεί κατάλληλο σήμα εξόδου.
- Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης μετρούν **διαφορική πίεση** και οι βασικότεροι από αυτούς είναι: ο μετρητής με **σωλήνα Bourdon**, ο **φουσητήρας**, οι **χωρητικοί** αισθητήρες, οι **πιεζοηλεκτρικοί** αισθητήρες, οι αισθητήρες με **πιεζοαντιστάσεις (μετρητές μηχανικής τάσης)**.
- Οι **ηλεκτρονικοί** αισθητήρες πίεσης **ανιχνεύουν** την **αλλαγή πίεσης** μέσω ενός **διαφράγματος** και διακρίνονται κυρίως από τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να ανιχνεύουν τη μετατόπιση λόγω πίεσης, σε **χωρητικούς** (χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ιδιότητα της χωρητικότητας) και **πιεζοηλεκτρικούς** (βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο).

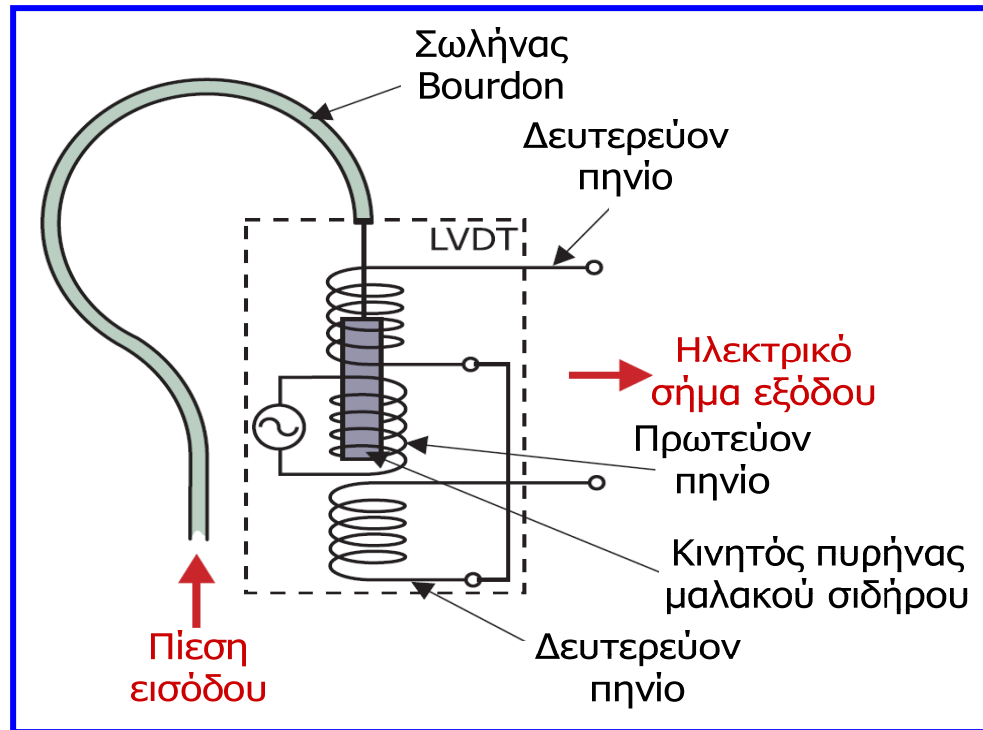
Μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon

- Είναι δημοφιλής μετρητής πίεσης, βασικό τμήμα του οποίου αποτελεί ελαστικός **σωλήνας σχήματος C** που κατασκευάζεται συνήθως από μεταλλικά κράματα (χάλυβας, ορείχαλκος: κράμα χαλκού-ψευδαργύρου).
- Όταν **εφαρμοστεί** στο ανοιχτό κάτω άκρο του σωλήνα μία **πίεση**, τότε ο **σωλήνας αποκλίνει** προς τα έξω (δηλ. τείνει να ευθυγραμμιστεί) και η απόκλιση αυτή είναι **ανάλογη** με την εφαρμοζόμενη **πίεση**.
- Όταν η πίεση μειώνεται, ο σωλήνας αρχίζει να επανέρχεται στην αρχική του θέση που αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση.
- Στο σωλήνα συνδέεται ενδεικτική βελόνα που μετακινείται σε μία βαθμονομημένη κλίμακα και επειδή η κίνηση του σωλήνα είναι μικρή εφαρμόζεται μηχανική ενίσχυση, ώστε να αυξηθεί η απόκλιση της βελόνας.



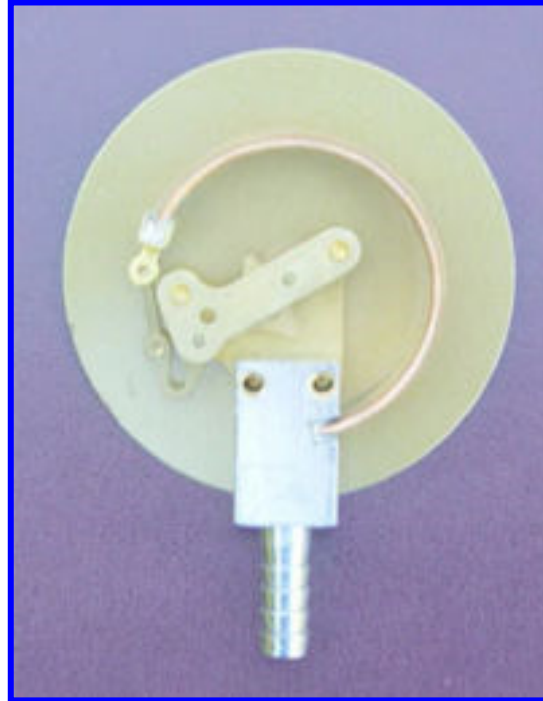
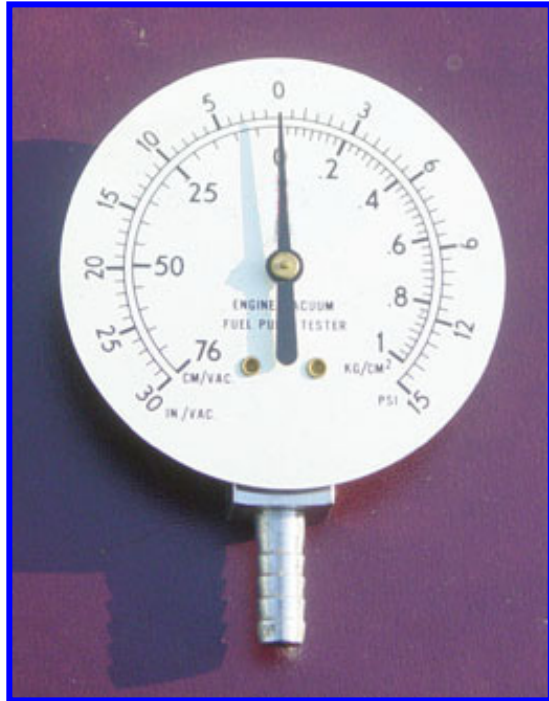
Μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon

- Όταν είναι επιθυμητή η **λήψη μετρήσεων από απόσταση**, η μετατόπιση του **σωλήνα** λόγω αλλαγής της πίεσης μπορεί να μετρηθεί από κατάλληλο **αισθητήρα μετατόπισης (LVDT)**, ο οποίος μετατρέπει τη μετατόπιση που παράγει ο σωλήνας σε ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να απεικονιστεί ή να καταγραφεί σε ηλεκτρική συσκευή βαθμονομημένη σε μονάδες πίεσης.



- Οι μετρητές με σωλήνα Bourdon έχουν **χαμηλό κόστος** και είναι κατάλληλοι για χρήση σε **βιομηχανικές** και **οικιακές εφαρμογές** για μέτρηση πίεσης υγρών και αερίων (ελαστικά αυτοκινήτων, συσκευές και μηχανήματα, σωληνώσεις).

Μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon



Φυσητήρας

- Είναι διαφορικός αισθητήρας πίεσης που κατασκευάζεται από σωλήνα κράματος χαλκού και χρησιμοποιείται για μέτρηση μικρών πιέσεων (0 – 1000 Pa).
- Όταν εφαρμόζεται πίεση στον φυσητήρα μέσω της οπής που έχει στο πάνω μέρος του, ασκείται σε αυτόν δύναμη F που προκαλεί τη διαστολή του (d), έως ότου η δύναμη αυτή εξισωθεί με τη δύναμη που ασκείται από τον φυσητήρα (που είναι αντίστοιχη με τη δύναμη ελατηρίου, δηλαδή ισούται με το γινόμενο της σταθεράς φυσητήρα επί της διαστολής του).

$$F = F_{\text{φυσητ.}} \Rightarrow P_{\text{αγν.}} \cdot A = \lambda \cdot d \Rightarrow P_{\text{αγν.}} = \frac{\lambda \cdot d}{A}$$

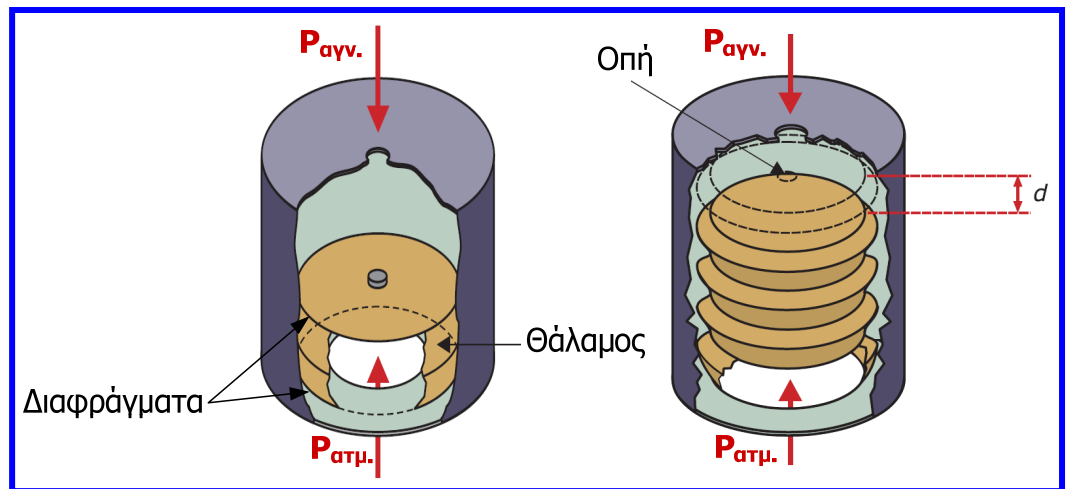
d : μήκος διαστολής φυσητήρα (m)

A : εμβαδόν διατομής φυσητήρα (m²)

λ : σταθερά φυσητήρα (N/m)

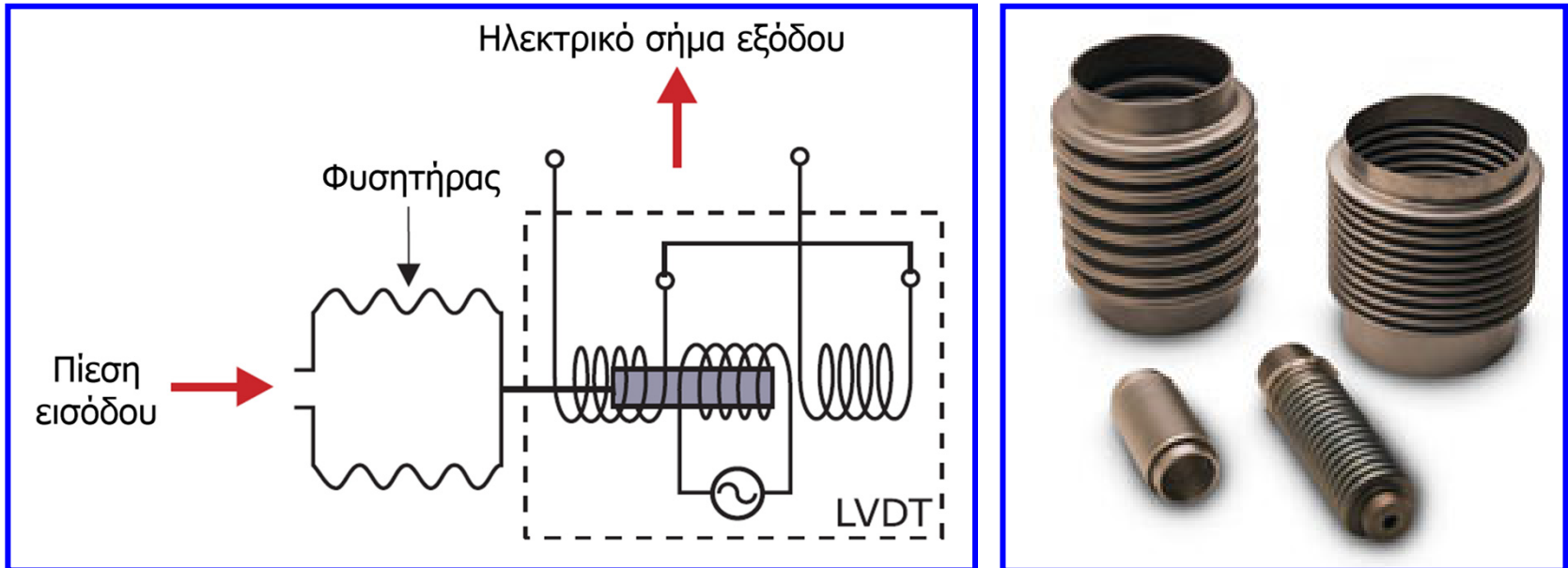
- Προκύπτει λοιπόν, ότι η κατά μήκος διαστολή του φυσητήρα είναι ανάλογη με την εφαρμοζόμενη πίεση, συνεπώς για τη μέτρηση της πίεσης αρκεί να μετρηθεί η διαστολή.

Χρησιμοποιούνται φυσητήρες πολλών θαλάμων και φυσητήρες ενός θαλάμου, με τους δεύτερους να δίνουν μικρότερες μετατοπίσεις (μήκη διαστολής) από τους πρώτους.



Φυσητήρας

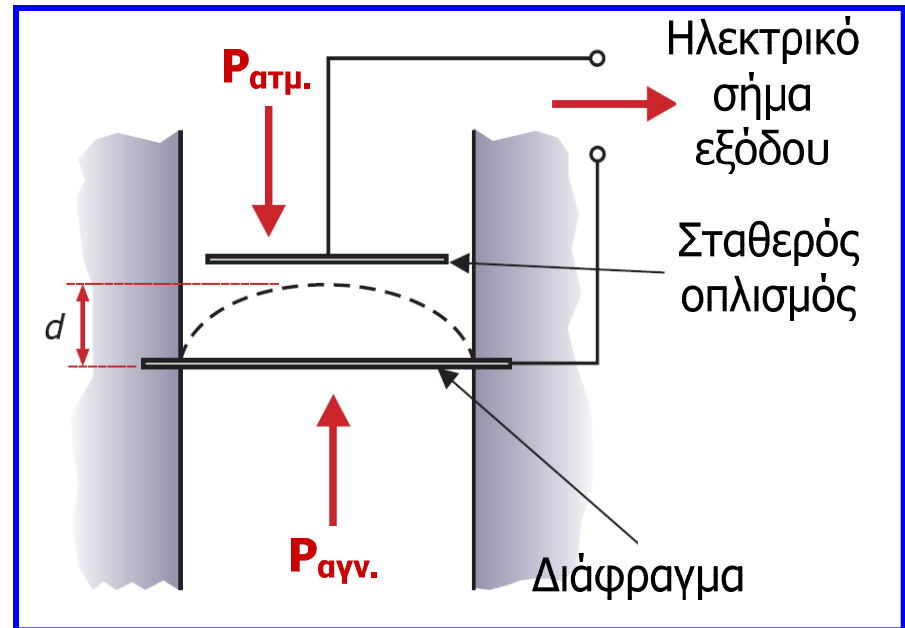
- Ο φυσητήρας παράγει συνήθως μικρές μετατοπίσεις, οι οποίες πρέπει να ενισχύονται, οπότε συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αισθητήρες μετατόπισης (**LVDT ή ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΑ**) για την παραγωγή κατάλληλου ηλεκτρικού σήματος, το οποίο μπορεί να απεικονιστεί ή να καταγραφεί από συσκευή βαθμονομημένη σε μονάδες πίεσης.



- Δε χρησιμοποιείται σε περιβάλλοντα που υπόκεινται σε δονήσεις, κρούσεις ή αλλαγές θερμοκρασίας, όπου επηρεάζεται η ακρίβειά του.
- Τυπική **εφαρμογή** ελέγχου είναι το κλείσιμο βαλβίδων σε σωλήνα όταν η πίεση ανέλθει σε μία οριακή τιμή.

Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης

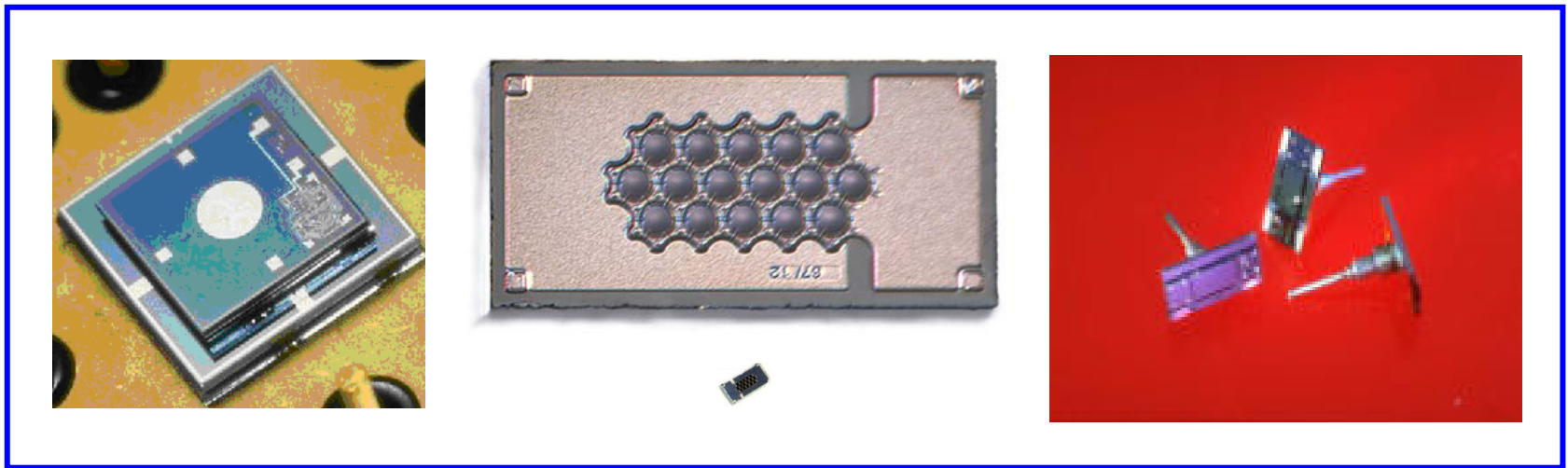
- Χρησιμοποιούν την **ηλεκτρική ιδιότητα** της **χωρητικότητας** για να μετρήσουν τη **μετατόπιση κυκλικού διαφράγματος** μεταλλικού κράματος.
- Μετρούν **διαφορική πίεση** και όταν δεχθούν πίεση, το διάφραγμα παρουσιάζει μικρή μετατόπιση (mm ή κλάσματα mm), της οποίας η σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεση εξαρτάται από τη σχεδίαση του αισθητήρα (σχήμα, πάχος, υλικό κ.α.).



- Επειδή η **μετατόπιση** είναι **πολύ μικρή** θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένας αισθητήρας μετατόπισης με υψηλή ακρίβεια, ευαισθησία και διακριτική ικανότητα.
- Το **διάφραγμα** αποτελεί τον **κινούμενο οπλισμό** ενός πυκνωτή (ο άλλος είναι σταθερός) και η **μετατόπιση μεταβάλλει** την **απόσταση των οπλισμών** και όχι την επιφάνεια επικάλυψης όπως στον πυκνωτή μεταβλητού εμβαδού που χρησιμοποιείται ως αισθητήρας μετατόπισης.
- Όταν ασκείται πίεση, το διάφραγμα μετατοπίζεται προκαλώντας μείωση της απόστασης των δύο οπλισμών.

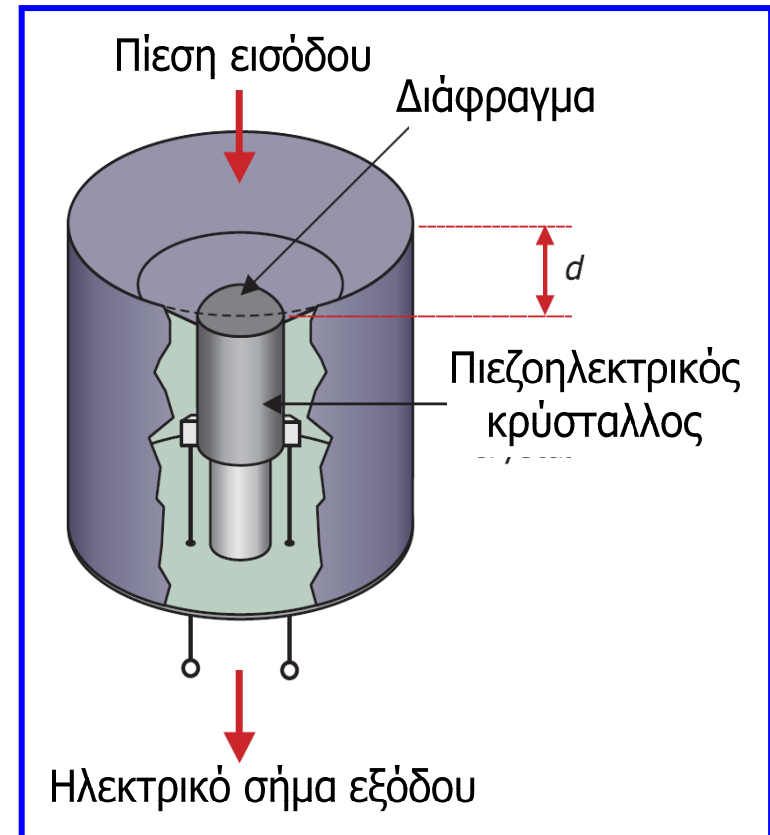
Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης

- Η **χωρητικότητα** του πυκνωτή είναι **αντιστρόφως ανάλογη** της **απόστασης των οπλισμών**, οπότε εάν στον πυκνωτή εφαρμοστεί ηλεκτρικό σήμα (τάση), κάθε αλλαγή της χωρητικότητας θα προκαλεί αλλαγή του σήματος αυτού.
- Το σήμα στη συνέχεια υφίσταται ρύθμιση και απεικονίζεται σε συσκευή βαθμονομημένη σε μονάδες πίεσης.
- Λόγω της **υψηλής ευαισθησίας** τους, οι χωρητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για **ανίχνευση μικρών πιέσεων** (π.χ. μέτρηση μικρών μεταβολών ροής σε σωληνώσεις) και λόγω **μικρού μεγέθους** και **μικρής κατανάλωσης ενέργειας** σε **ιατρικές εφαρμογές**.

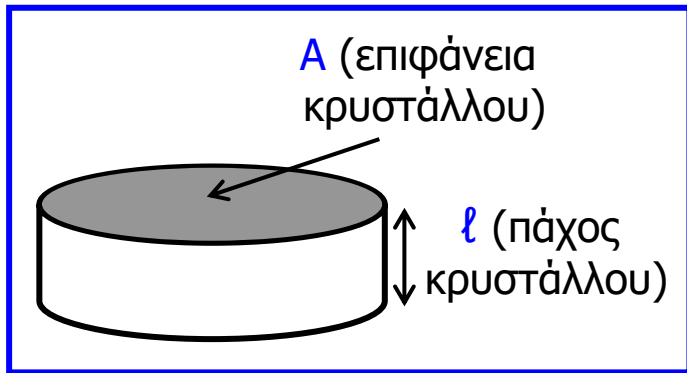


Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης

- Η αρχή λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων πίεσης στηρίζεται στην **ανίχνευση μεταβολής πίεσης** μέσω της **μετατόπισης** ενός λεπτού μεταλλικού ή ημιαγωγικού **διαφράγματος**.
- Το διάφραγμα πιέζει έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (συνήθως χαλαζία), ο οποίος παραμορφώνεται από την πίεση που δέχεται.
- Τα ηλεκτρικά φορτία αντιθέτου πρόσημου που εμφανίζονται στις απέναντι πλευρές του κρυστάλλου (σύμφωνα με το **πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο**) είναι ανάλογα της ασκούμενης μηχανικής τάσης και επομένως της πίεσης ή της δύναμης που ασκείται.
- Λόγω της εμφάνισης φορτίου παράγεται ανάλογο ηλεκτρικό σήμα (τάση).
- Συχνά ενσωματώνεται κύκλωμα ρύθμισης του σήματος εξόδου σε σφραγισμένη μονάδα, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης



Εμφανιζόμενο φορτίο (q) στον κρύσταλλο για εφαρμοζόμενη δύναμη F :

$$q = d \cdot F$$

d : πιεζοηλεκτρικός συντελεστής φορτίου ($d = 2 \times 10^{-12}$ C/N για κρύσταλλο χαλαζία)

Οι δύο αντίθετες πλευρές του κρυστάλλου επιμεταλλώνονται και έτσι δημιουργούν πυκνωτή με διηλεκτρικό τον ίδιο τον κρύσταλλο:

$$C = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{l}$$

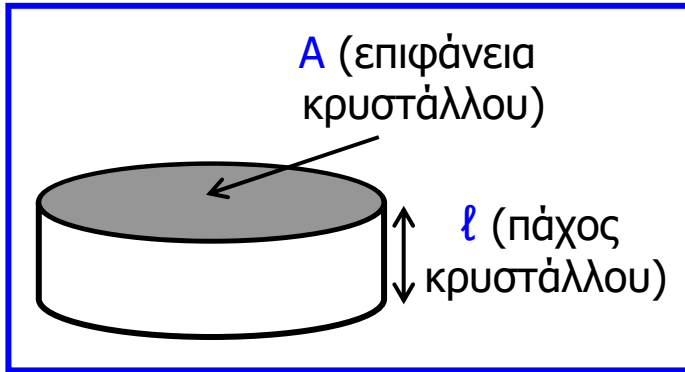
ϵ_0 : απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του αέρα ($8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m),

ϵ_r : σχετική διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού υλικού (για το χαλαζία $\epsilon_r = 4.5$).

Το μέτρο ελαστικότητας (E) του κρυστάλλου ισούται με την πίεση που ασκείται προς το πηλίκο της μεταβολής της διάστασης του προς την αρχική διάσταση:

$$E = \frac{P}{\Delta l / l} = \frac{F/A}{\Delta l / l}$$

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης



$$q = d \cdot F$$

(1)

$$E = \frac{P}{\Delta \ell / \ell} = \frac{F/A}{\Delta \ell / \ell}$$

(2)

$$C = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ell}$$

(3)

Παραμόρφωση του κρυστάλλου (δηλ. μεταβολή του πάχους του) κατά $\Delta \ell$ προκαλεί εμφάνιση ανάλογου φορτίου q :

$$q = K \cdot \Delta \ell$$

$$K = \frac{q}{\Delta \ell} \stackrel{(1)}{=} \frac{d \cdot F}{\Delta \ell} \stackrel{(2)}{=} \frac{d \cdot E \cdot A}{\ell} \stackrel{(3)}{=} \frac{d \cdot E \cdot C}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

K: σταθερά που εξαρτάται από τις ιδιότητες του κρυστάλλου (πιεζοηλεκτρικό συντελεστή φορτίου, μέτρο ελαστικότητας, χωρητικότητα, διηλεκτρική σταθερά).

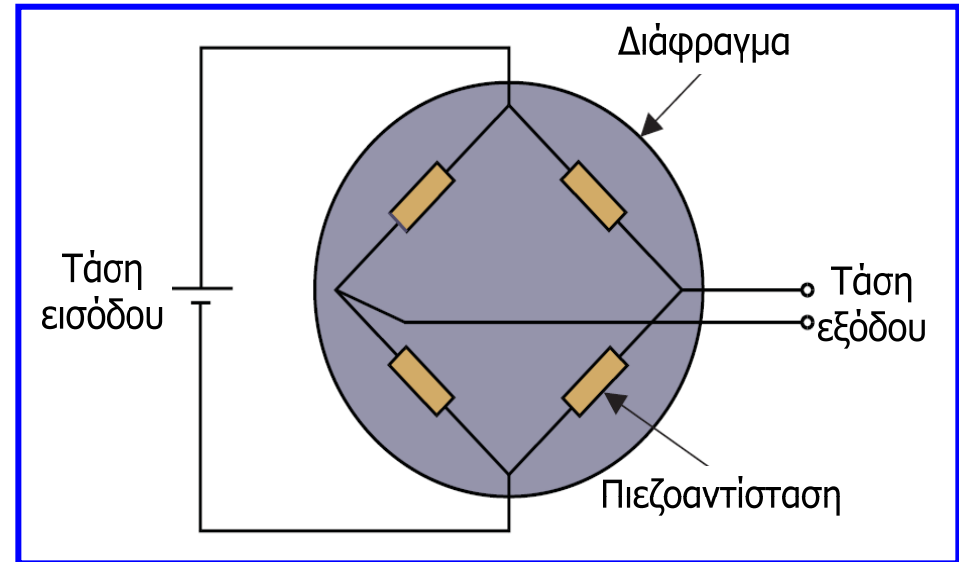
Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης

- **Κύρια χαρακτηριστικά:** γρήγορη απόκριση, μεγάλο εύρος λειτουργίας, πολύ υψηλή ευαισθησία, υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα, χαμηλή υστέρηση.
- Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης είναι λειτουργικοί σε υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να έχουν αρκετά μικρό μέγεθος.
- Παρέχουν δυνατότητα χρήσης σε ειδικές εφαρμογές, όπως η μέτρηση της πίεσης στο εσωτερικό ενός όπλου, όταν αυτό εκपुरσοκροτεί.



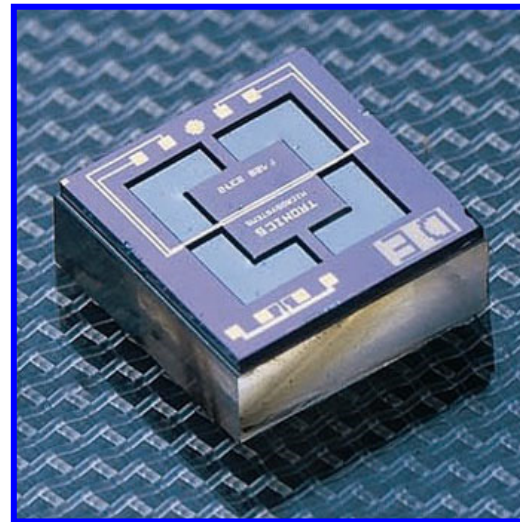
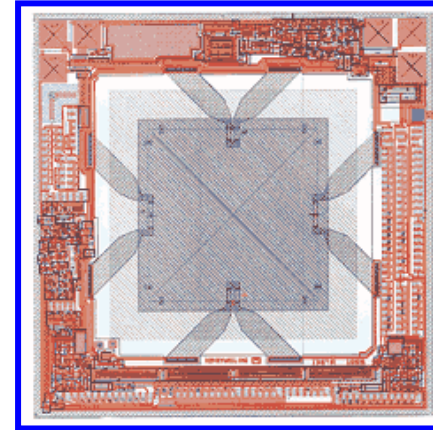
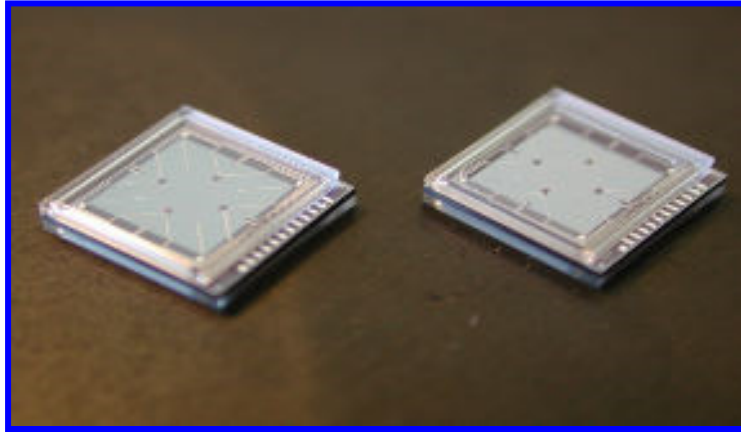
Αισθητήρες με πιεζοαντιστάσεις (μετρητές μηχ. τάσης)

- Παρόμοια λειτουργία με τους πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες έχουν και οι **αισθητήρες με πιεζοαντιστάσεις (piezoresistive pressure sensors)**.
- Το **φαινόμενο** της **πιεζοαντίστασης**, οφείλεται στην **εξάρτηση** της **αντίστασης** ενός υλικού από τη **μηχανική τάση** που δέχεται.



- Στο διάφραγμα τοποθετούνται 4 πιεζοαντιστάσεις σχηματίζοντας **γέφυρα Wheatstone**.
- Όταν ασκείται πίεση στο διάφραγμα, οι αντιστάσεις δέχονται μηχανική τάση και η αντίστασή τους αλλάζει, με αποτέλεσμα να γίνεται αντιληπτή η μεταβολή της πίεσης.
- **Κύρια χαρακτηριστικά**: υψηλή ακρίβεια ($\pm 0,2\%$) και επαναληψιμότητα, χαμηλή υστέρηση, σταθερότητα, γενικά μικρό εύρος μέτρησης (0 – 200 kPa), μέτρια ευαισθησία 1mV / kPa, εύκολη ολοκλήρωση ηλεκτρονικού κυκλώματος και αισθητήρα στην ίδια ψηφίδα (chip).
- **Τυπική εφαρμογή**: ανίχνευση πίεσης στον πυθμένα δεξαμενής υγρού (η πίεση είναι ανάλογη του βάθους του υγρού, επομένως ο αισθητήρας πίεσης μπορεί να αποτελεί και τμήμα συστήματος μέτρησης στάθμης).

Αισθητήρες με πιεζοαντιστάσεις (μετρητές μηχ. τάσης)

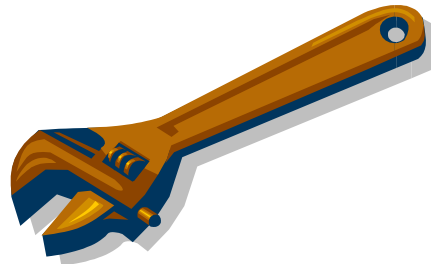


Βαρόμετρα

- Τα **βαρόμετρα (barometers)** είναι αισθητήρες πίεσης που χρησιμοποιούνται για τη **μέτρηση** της **ατμοσφαιρικής πίεσης**.
- Λόγω της χρήσης αυτής θα πρέπει να είναι αρκετά ευαίσθητα και να **μετρούν απόλυτη πίεση**.
- Αποτελούν βασικό εργαλείο για **μετεωρολογικούς σκοπούς**, όπου η υψηλή ατμοσφαιρική πίεση σχετίζεται με την καλοκαιρία, ενώ η εμφάνιση χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης προμηνύει κακοκαιρία.
- Τα βαρόμετρα υπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια σε δύο βασικές μορφές:
 - ✓ **Βαρόμετρα υγρού** των οποίων η λειτουργία και η μορφή είναι παρόμοια με τα μανόμετρα υγρού.
 - ✓ **Μεταλλικά βαρόμετρα** τα οποία δεν περιέχουν υγρό και ανιχνεύουν τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης με τη βοήθεια της συστολής ή διαστολής μιας κάψουλας, στις δύο όψεις της οποίας υπάρχουν αντίστοιχα διαφράγματα.

Συμπεράσματα

- Μελετήσαμε αρχικά συσκευές μέτρησης στάθμης και το πως σχετίζονται οι παράμετροι της στάθμης, του όγκου, της μάζας και του βάρους.
- Για τη μέτρηση της στάθμης και των σχετιζόμενων με αυτή παραμέτρων είναι διαθέσιμες συσκευές όπως: δοχείο παρατήρησης, ράβδος βυθομέτρησης, μετρητές με πλωτήρα, βελόνες χωρητικότητας και αγωγιμότητας, μετρητές υπερήχων και φυσαλίδων, καθώς και αισθητήρες πίεσης.
- Στη συνέχεια μελετήσαμε την παράμετρο της πίεσης και τις συσκευές που είναι διαθέσιμες για τη μέτρηση της.
- Οι αισθητήρες ή μετρητές πίεσης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: μανόμετρα, ελαστικοί αισθητήρες και βαρόμετρα.
- Σημαντικές συσκευές για τη μέτρηση πίεσης σε διάφορες σημερινές εφαρμογές μέτρησης και ελέγχου είναι οι διάφοροι τύποι ελαστικών αισθητήρων όπως: μετρητής με σωλήνα Bourdon, φουσητήρας, χωρητικοί αισθητήρες και πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, αισθητήρες με πιεζοαντιστάσεις (μετρητές μηχανικής τάσης).
- Η πίεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό και άλλων παραμέτρων όπως για παράδειγμα το βάθος και ο ρυθμός ροής ενός υγρού.
- Η επιλογή κατάλληλου αισθητήρα στάθμης ή πίεσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα το είδος και το εύρος μέτρησης, η απαιτούμενη ακρίβεια κ.α.



Ερωτήσεις και ασκήσεις 7^{ης} ενότητας

Ερώτηση 1^η

Γιατί είναι πιο κατάλληλη η χρήση βελόνας χωρητικότητας για τη μέτρηση της στάθμης καυσίμου σε ένα αεροσκάφος, από τη χρήση βελόνας αγωγιμότητας ή μετρητή στάθμης φυσαλίδων;

Όταν χρησιμοποιείται βελόνα χωρητικότητας, όσο γεμίζει η δεξαμενή καυσίμου, η χωρητικότητα της βελόνας αλλάζει αφού το καύσιμο έχει υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από τον αέρα και η αλλαγή της χωρητικότητας είναι ανάλογη με το ύψος της στάθμης του υγρού. Έτσι οποιαδήποτε αλλαγή χωρητικότητας μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην τάση του πυκνωτή, η οποία ενεργοποιεί τη συσκευή ένδειξης του αεροσκάφους.

Στη βελόνα αγωγιμότητας αντί να μετράμε αλλαγή χωρητικότητας, μετράμε την αλλαγή αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της λόγω της παρουσίας του ηλεκτρικά αγωγίμου καυσίμου. Μειονέκτημα της χρήσης της βελόνας αγωγιμότητας αποτελεί το γεγονός ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση) επηρεάζουν την αγωγιμότητα του καυσίμου και επομένως το σύστημα μέτρησης. Πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι υπάρχει κίνδυνος εκκένωσης (σπινθήρα) μεταξύ των ηλεκτροδίων λόγω της διαφοράς δυναμικού, γεγονός που καθιστά ακατάλληλη τη βελόνα αγωγιμότητας για μέτρηση στάθμης εύφλεκτων υγρών.

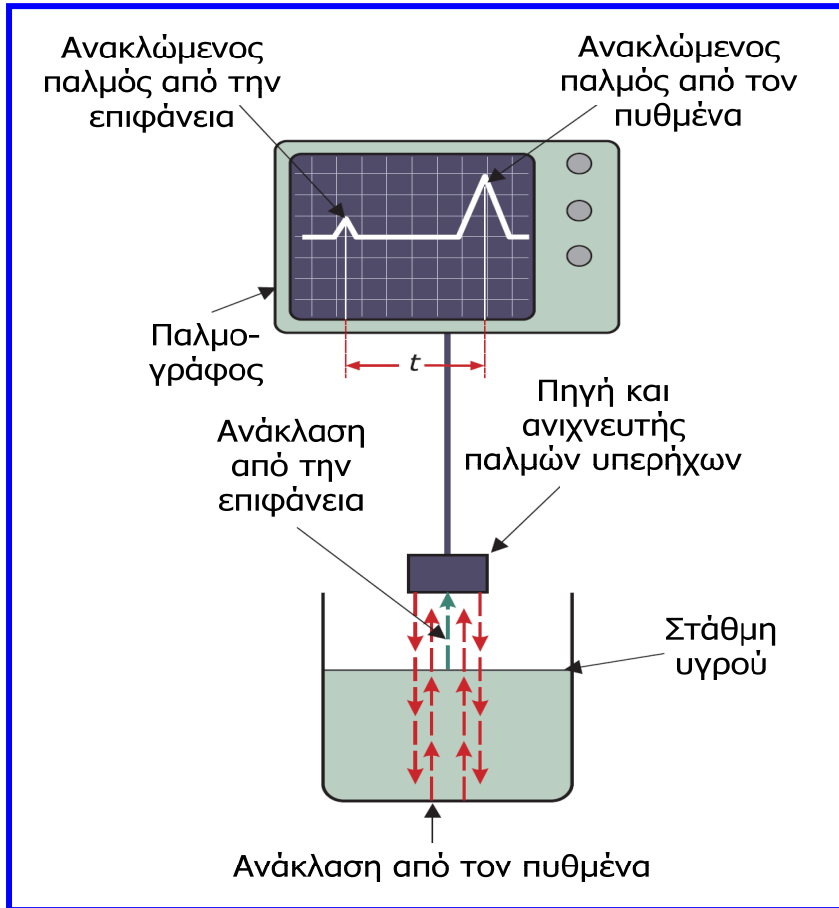
Στον μετρητή φυσαλίδων η πίεση του αέρα ρυθμίζεται με τη βοήθεια βαλβίδας.

Ωστόσο, αν και με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις υπάρχει το μειονέκτημα ότι απαιτείται παρέμβαση του χρήστη για να γίνει η κατάλληλη ρύθμιση.

Επομένως, η χρήση βελόνας χωρητικότητας είναι καταλληλότερη διότι παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια και δεν απαιτεί ρυθμιστική παρέμβαση από το χρήστη.

Ερώτηση 2^η

Για ποιες άλλες παραμέτρους εκτός από το βάθος ενός υγρού σε δεξαμενή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο μετρητής στάθμης υπερήχων;



Η διαφορά στο χρόνο άφιξης των ανακλώμενων παλμών σχετίζεται άμεσα με το βάθος του υγρού, αλλά είναι δυνατή η βαθμονόμηση της οθόνης του παλμογράφου σε μονάδες όγκου ή μάζας εάν είναι γνωστή η πυκνότητα του υγρού.

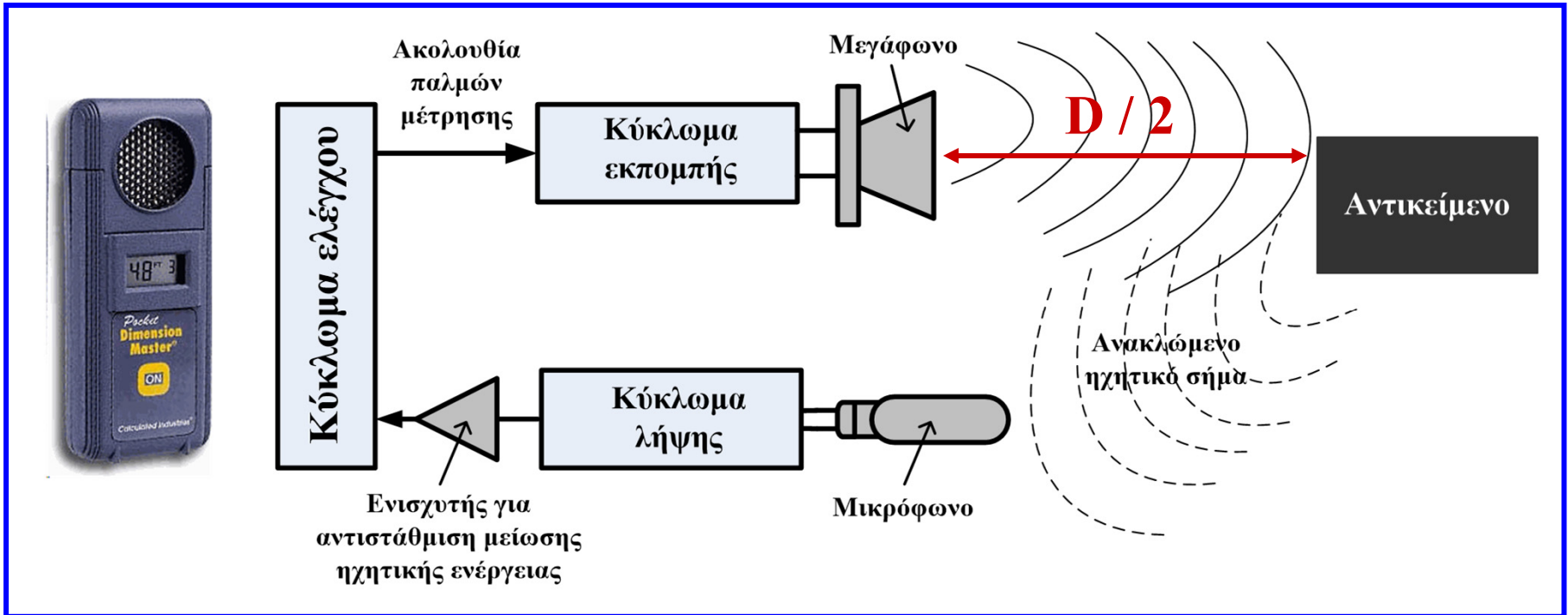
Άλλη σημαντική παράμετρος που θα μπορούσε να μετρηθεί είναι η μορφολογία της δεξαμενής ή ακόμη και να ανιχνευτούν τυχόν ξένα αντικείμενα που βρίσκονται στη δεξαμενή.

Τέτοιου είδους μετρητές χρησιμοποιούνται συχνά για θαλάσσιες βυθομετρήσεις, καθώς και για ανίχνευση της μορφολογίας του βυθού.

Γενικότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως **αποστασιόμετρο**, όπως φαίνεται στη συνέχεια.

Ερώτηση 2η

Μέτρηση απόστασης με υπερήχους



Απόσταση αντικειμένου από συσκευή: $D / 2$ με $D = c \times t$

c : ταχύτητα διάδοσης του ήχου (~ 340 m/sec)

t : συνολικός χρόνος από την εκπομπή μέχρι τη λήψη

Ερώτηση 3^η

Γιατί οι βελόνες χωρητικότητας είναι ακατάλληλες για τη μέτρηση του βάθους κάποιων υγρών όπως ο υδράργυρος ή το διάλυμα θειικού χαλκού;

Όταν χρησιμοποιείται βελόνα χωρητικότητας, όσο γεμίζει η δεξαμενή υγρού, η χωρητικότητα της βελόνας αλλάζει όταν το υγρό που περιέχεται στη δεξαμενή έχει υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από τον αέρα και τότε η αλλαγή της χωρητικότητας είναι ανάλογη με το ύψος της στάθμης του υγρού.

$$C = \frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{d}$$

A: εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή
 ϵ_0 : απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του αέρα ($8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m)
 ϵ_r : σχετική διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού υλικού
d: απόσταση των οπλισμών

Η σχετική διηλεκτρική σταθερά κάποιων υγρών όπως αυτά που αναφέρονται στην ερώτηση κυμαίνεται πολύ κοντά σε εκείνη του αέρα, με αποτέλεσμα να μη μεταβάλλεται η χωρητικότητα της βελόνας και η μέτρηση να είναι ανέφικτη. Για παράδειγμα, η σχετική διηλεκτρική σταθερά του αέρα είναι 1, ενώ του υδράργυρου είναι 1,00074.

Ερώτηση 4^η

Πως επηρεάζει η μείωση της διατομής των σκελών ενός υοειδούς μανόμετρου, τα χαρακτηριστικά του όσον αφορά τη μέτρηση μιας μάζας που ασκεί πίεση στο ένα σκέλος του μανομέτρου;

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

$$P = \frac{B}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad (2)$$

$$\rho \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot g}{S} \Rightarrow h = \frac{m}{S \cdot \rho} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις που ισχύουν, προκύπτει ότι εάν μειωθεί η διατομή (S) των σκελών του μανόμετρου, τότε θα αυξηθεί η ευαισθησία του οργάνου [αφού όπως προκύπτει από την σχέση (3) για την ίδια μάζα, η διαφορά ύψους του υγρού στα δύο σκέλη είναι μεγαλύτερη], αλλά περιορίζεται η περιοχή μέτρησης της μάζας.

Ερώτηση 5^η

Γιατί στο παρελθόν ο υδράργυρος ήταν δημοφιλές υγρό που χρησιμοποιούνταν στα μανόμετρα και τα βαρόμετρα υγρού;

$$P_{\text{διαφ.}} = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow h = \frac{P_{\text{διαφ.}}}{\rho \cdot g}$$

Ο υδράργυρος είναι βαρύ υγρό, δηλ. διαθέτει μεγάλη πυκνότητα (ρ), οπότε η διαφορά ύψους (h) των δύο σκελών ενός μανόμετρου προκύπτει μικρή για σχετικά μεγάλες πιέσεις, από ότι σε άλλα υγρά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη διεύρυνση της περιοχής λειτουργίας του οργάνου, αλλά όμως και τη μείωση της ευαισθησίας του.

Επίσης, ο υδράργυρος παρουσιάζει χαμηλή θερμοκρασία πήξης (περίπου $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$) σε σχέση με άλλα υγρά, γεγονός που διευκόλυνε τις μετεωρολογικές μετρήσεις με βαρόμετρα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ερώτηση 6^η

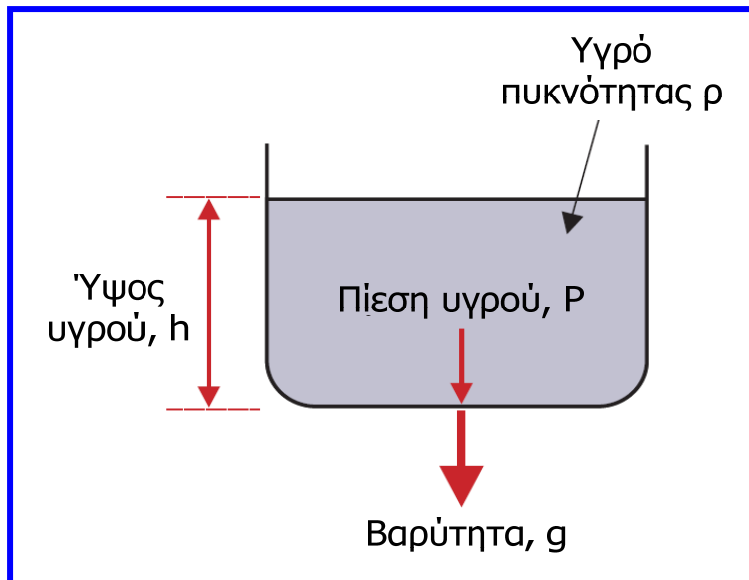
Συγκρίνεται τους αισθητήρες πιεζοαντιστάσεων με τους χωρητικούς αισθητήρες πίεσης και συζητήστε την καταλληλότητα των δύο αυτών τύπων αισθητήρων για ιατρικές εφαρμογές.

Οι μικρομηχανικοί αισθητήρες πίεσης (χωρητικοί ή με πιεζοαντιστάσεις) έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων διαγνωστικών και θεραπευτικών τεχνικών (καθετήρες και εμφυτεύματα μέτρησης και ελέγχου καρδιακής πίεσης). Λόγω κυρίως του μικρότερου μεγέθους που μπορεί να επιτευχθεί και λόγω της μικρότερης κατανάλωσης ενέργειας, συνήθως επιλέγονται οι χωρητικοί αισθητήρες.

Αισθητήρες με πιεζοαντιστάσεις	Χωρητικοί αισθητήρες
Το σήμα εξόδου είναι ηλεκτρική τάση και είναι πιο εύκολα επεξεργάσιμο.	Το σήμα εξόδου είναι μεταβολή χωρητικότητας (πιο δύσκολα επεξεργάσιμο)
Μεγάλη σταθερότητα, επαναληψιμότητα	Μέτρια σταθερότητα, επαναληψιμότητα
Ευκολία ολοκλήρωσης ηλεκτρονικού κυκλώματος και αισθητήρα σε μία ψηφίδα	Το ηλεκτρονικό κύκλωμα και ο αισθητήρας δύσκολα κατασκευάζονται σε μία ψηφίδα
Μέτρια ευαισθησία	Μεγάλη ευαισθησία
Μικρά περιθώρια ελαχιστοποίησης μεγέθους	Μεγάλα περιθώρια ελαχιστοποίησης μεγέθους
Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας	Μικρή κατανάλωση ενέργειας
Μεγάλη θερμοκρασιακή εξάρτηση	Μικρή θερμοκρασιακή εξάρτηση

Άσκηση 1^η

Κατά τη μέτρηση του ύψους στάθμης υγρού σε μία δεξαμενή σταθερής διατομής με τη βοήθεια ενός αισθητήρα διαφορικής πίεσης προέκυψε ότι το ύψος στάθμης του υγρού είναι 20 m. Εάν η πίεση που μετρήθηκε από τον αισθητήρα είναι 196200 Pa, να προσδιορίσετε ποιο από τα παρακάτω υγρά υπάρχει στη δεξαμενή: λάδι, νερό ή υδράργυρος; Δίνεται η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$.

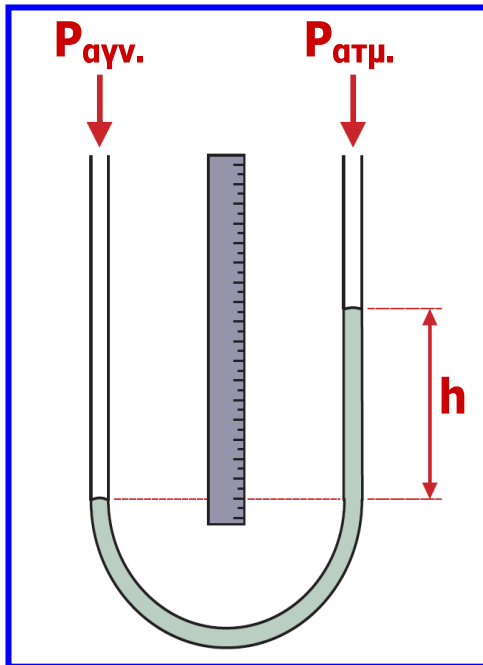


$$P_{\text{διαφ.}} = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow \rho = \frac{P}{g \cdot h} \Rightarrow$$
$$\rho = \frac{196200}{9.81 \cdot 20} \Rightarrow \rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Η πυκνότητα του υγρού της δεξαμενής συμπίπτει με την πυκνότητα του νερού, οπότε το υγρό της δεξαμενής είναι νερό. Το λάδι είναι ελαφρύτερο από το νερό ($\rho = 900 \text{ kg/m}^3$) και ο υδράργυρος πολύ βαρύτερος από το νερό ($\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$).

Άσκηση 2^η

Ένα υοειδές μανόμετρο που περιέχει νερό, δέχεται μια άγνωστη πίεση στο ένα σκέλος, ενώ το άλλο σκέλος του είναι ανοικτό στην πίεση της ατμόσφαιρας. Η διαφορά ανάμεσα στα ύψη του υγρού στα δύο σκέλη του σωλήνα είναι 20 mm. Να υπολογίσετε τη διαφορική πίεση που μετράει το μανόμετρο. Στη συνέχεια θεωρώντας ότι η ατμοσφαιρική πίεση που ενεργεί στο μανόμετρο είναι $1.01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, να υπολογίσετε την άγνωστη πίεση. Δίνονται η πυκνότητα του νερού $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ και η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$.



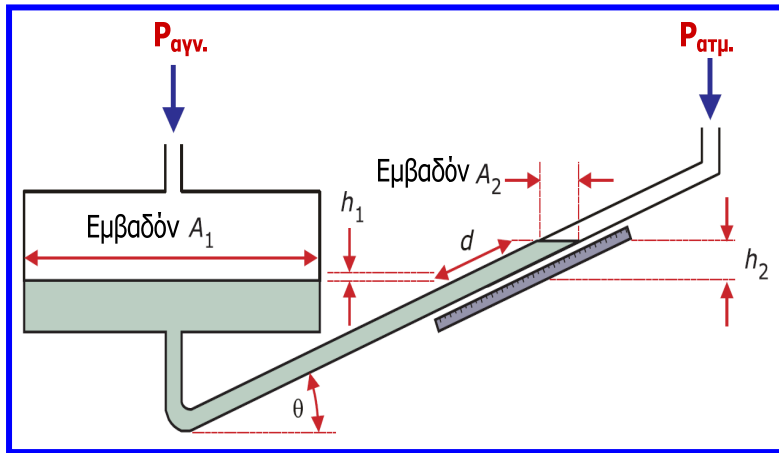
$$P_{\text{διαφ.}} = \rho \cdot g \cdot h$$
$$\Rightarrow P_{\text{διαφ.}} = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.02 \Rightarrow P_{\text{διαφ.}} = 196.2 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{ατμ.}} = 1.01325 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 101325 \text{ Pa} \quad \left(1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa} \right)$$

$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\text{αγν.}} - P_{\text{ατμ.}}$$
$$\Rightarrow P_{\text{αγν.}} = P_{\text{διαφ.}} + P_{\text{ατμ.}} \Rightarrow P_{\text{αγν.}} = 101325 + 196.2 \Rightarrow$$
$$P_{\text{αγν.}} = 101521.2 \text{ Pa} = 101.5212 \text{ kPa}$$

Άσκηση 3^η

Μανόμετρο κεκλιμένου σωλήνα με αλκοόλη, δέχεται μία άγνωστη πίεση στο σκέλος που συνδέεται με τη δεξαμενή, ενώ το άλλο σκέλος του είναι ανοικτό στην πίεση της ατμόσφαιρας. Η κλίση του μανόμετρου είναι 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και η απόσταση κατά την οποία κινείται το υγρό στον κεκλιμένο σωλήνα όταν εφαρμόζεται η άγνωστη πίεση είναι 25 mm. Να υπολογίσετε την άγνωστη πίεση. Δίνονται η πυκνότητα της αλκοόλης $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ και ότι η ατμοσφαιρική πίεση που ενεργεί στο μανόμετρο είναι $1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.



$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\text{αγν.}} - P_{\text{ατμ.}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{αγν.}} = P_{\text{ατμ.}} + P_{\text{διαφ.}} \Rightarrow$$

$$P_{\text{αγν.}} = P_{\text{ατμ.}} + \rho \cdot g \cdot d \cdot \sin \theta \Rightarrow$$

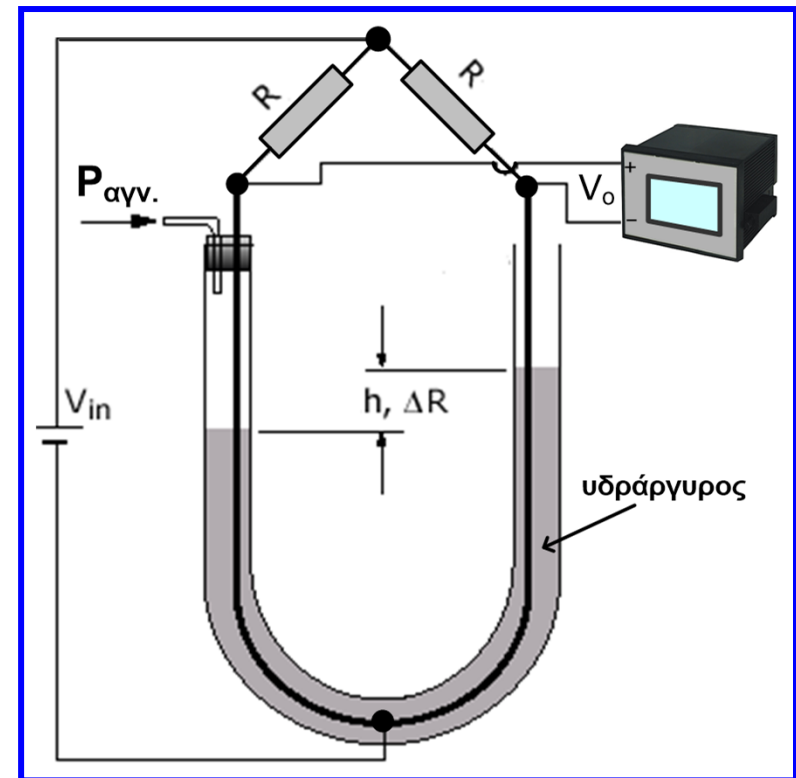
$$P_{\text{αγν.}} = 101521.2 + (800 \cdot 9.81 \cdot 0.025 \cdot 0.5) \Rightarrow$$

$$P_{\text{αγν.}} = 101521.2 + 98.1 \Rightarrow$$

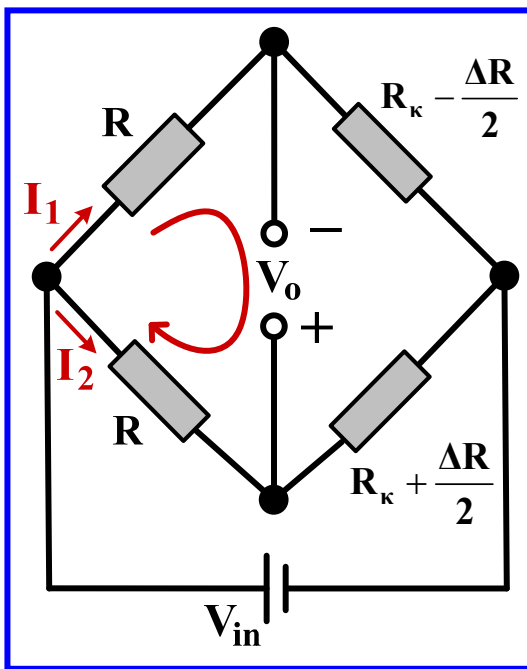
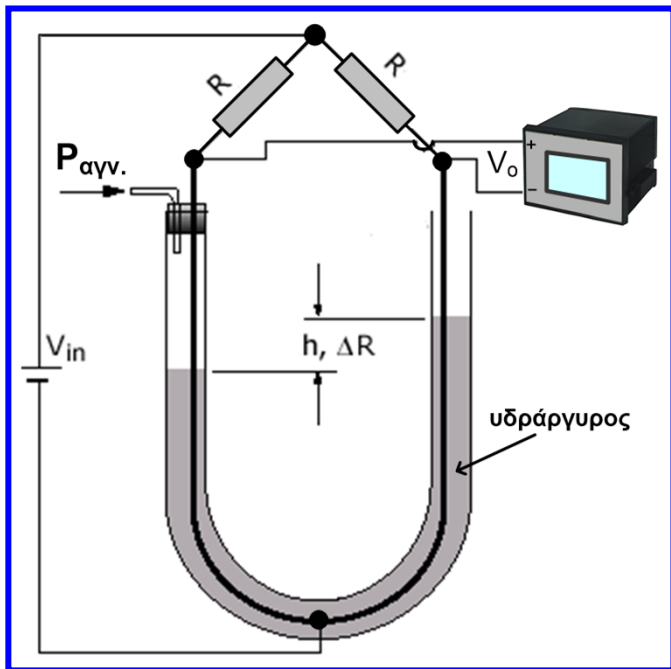
$$P_{\text{αγν.}} = 101423 \text{ Pa} = 101.423 \text{ kPa}$$

Άσκηση 4η

Ένα υοειδές μανόμετρο που περιέχει υδράργυρο, δέχεται πίεση στο αριστερό σκέλος του, ενώ το δεξιό σκέλος του είναι ανοικτό στην πίεση της ατμόσφαιρας. Η διαφορά ανάμεσα στα ύψη του υδραργύρου στα δύο σκέλη του μανομέτρου είναι 15 mm. Στο μανόμετρο είναι βυθισμένο ένα ηλεκτρόδιο υοειδούς σχήματος, το οποίο δημιουργεί αντιστάσεις στα δύο σκέλη του μανομέτρου, οι οποίες σχηματίζουν γέφυρα Wheatstone με δύο όμοιες αντιστάσεις $R = 1 \text{ k}\Omega$. Κατά την ισορροπία της γέφυρας, οι αντιστάσεις στα δύο σκέλη του μανομέτρου μετρήθηκαν $2 \text{ k}\Omega$ η καθεμία. Να υπολογίσετε την πίεση που δέχεται το αριστερό σκέλος του μανομέτρου, καθώς και την ένδειξη του βολτομέτρου που προκύπτει από την άσκηση της πίεσης αυτής. Δίνονται: ατμοσφαιρική πίεση = $1.01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, πυκνότητα υδράργυρου = 13600 kg/m^3 , επιτάχυνση βαρύτητας = 10 m/sec^2 , τάση εισόδου γέφυρας = 10 V , σταθερά αναλογίας διαφορικής πίεσης και μεταβολής αντίστασης ηλεκτροδίου $c = 51 \text{ N} / \Omega \cdot \text{m}^2$.



Άσκηση 4η



$$P_{\text{διαφ.}} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 0.015 \text{m}$$

$$= 2040 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{διαφ.}} = P_{\alpha\gamma\nu.} - P_{\alpha\tau\mu.} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{\alpha\gamma\nu.} = P_{\text{διαφ.}} + P_{\alpha\tau\mu.}$$

$$\Rightarrow P_{\alpha\gamma\nu.} = 1.03365 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

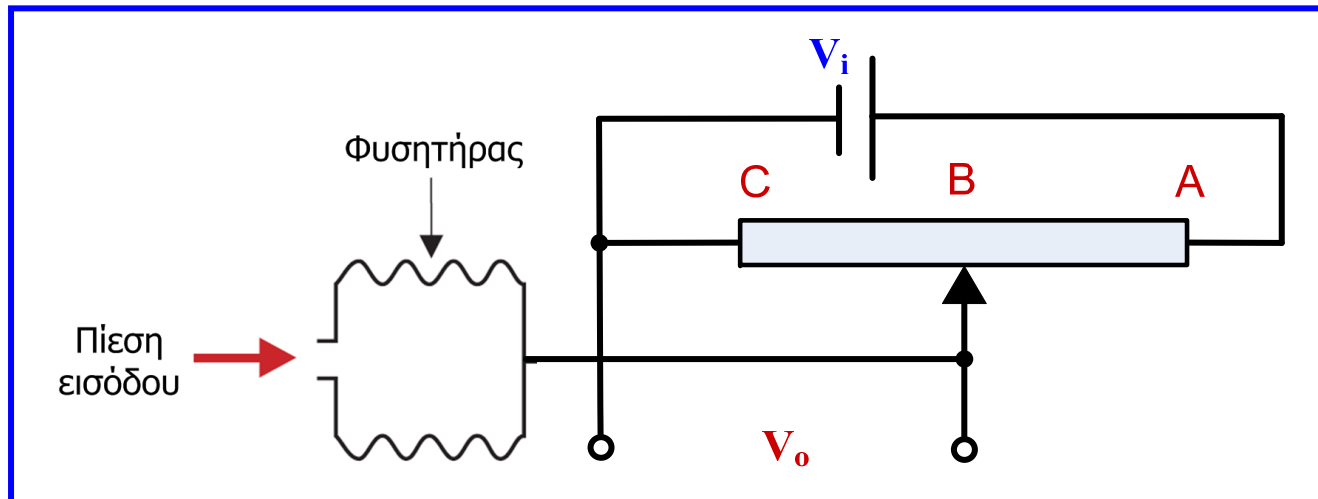
$$P_{\text{διαφ.}} = c \cdot \Delta R \Rightarrow \Delta R = P_{\text{διαφ.}} / c \Rightarrow \Delta R = (2040 / 51) \Omega = 40 \Omega$$

$$I_1 \cdot R - V_o - I_2 \cdot R = 0 \Rightarrow V_o = (I_1 - I_2) \cdot R \Rightarrow V_o = \frac{V_{in} \cdot R}{R + R_{\kappa} - \frac{\Delta R}{2}} - \frac{V_{in} \cdot R}{R + R_{\kappa} + \frac{\Delta R}{2}} \Rightarrow V_o = \frac{V_{in} \cdot R \cdot \Delta R}{(R + R_{\kappa})^2 - \frac{\Delta R^2}{4}}$$

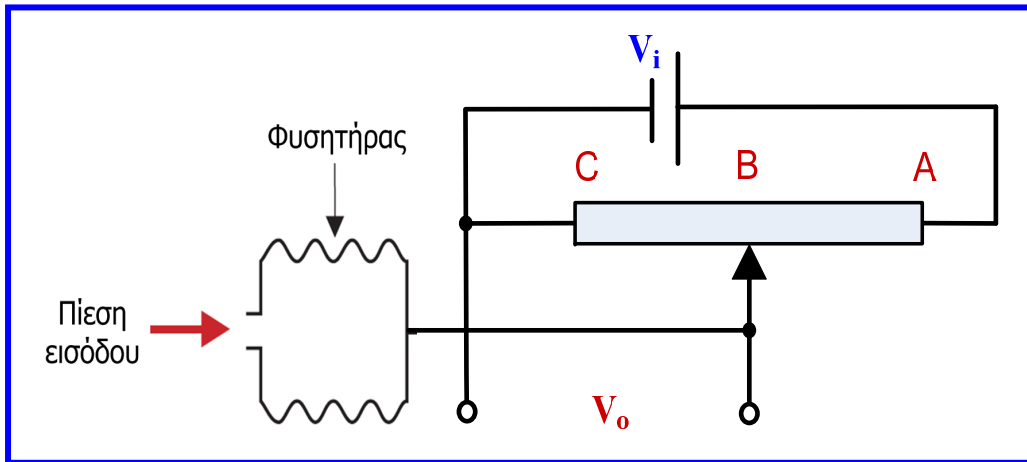
$$V_o = \frac{10 \cdot 1 \cdot 0.04}{(1 + 2)^2 - 0.04^2 / 4} \text{V} \Rightarrow V_o \approx 45 \text{mV}$$

Άσκηση 5^η

Σε έναν φυσητήρα συνδέεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της μετατόπισης που παράγεται από την εφαρμοζόμενη πίεση. Το ποτενσιόμετρο διαθέτει αντίσταση συνολικού μήκους 200 mm και τάση εισόδου 5 V. Όταν δεν εφαρμόζεται πίεση στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στο μέσο της αντίστασης του (σημείο B) και η τάση εξόδου του είναι 2.5 V. Εάν μία εφαρμοζόμενη πίεση προκαλέσει μετακίνηση της κινητής επαφής του ποτενσιόμετρου τέτοια ώστε η τάση εξόδου του να γίνει 2.75 V, να προσδιορίσετε τη μετατόπιση της κινητής επαφής του ποτενσιόμετρου και την πίεση που εφαρμόστηκε στο φυσητήρα. Δίνονται η σταθερά του φυσητήρα $\lambda = 500 \text{ N/m}$ και το εμβαδόν διατομής του $A = 0.05 \text{ m}^2$.



Άσκηση 5^η



$$V_i = 5 \text{ V}, \quad AC = \ell_{\max} = 200 \text{ mm},$$

$$BC = \ell = 100 \text{ mm}$$

$$\Delta V_o = 2.75 - 2.5 = 0.25 \text{ V}$$

$$\lambda = 200 \text{ N/m}, \quad A = 0.05 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC}} = \frac{R_{BC}}{R_{AC}} = \frac{\ell}{\ell_{\max}} \quad (1)$$

$$(2) - (1) \Rightarrow$$

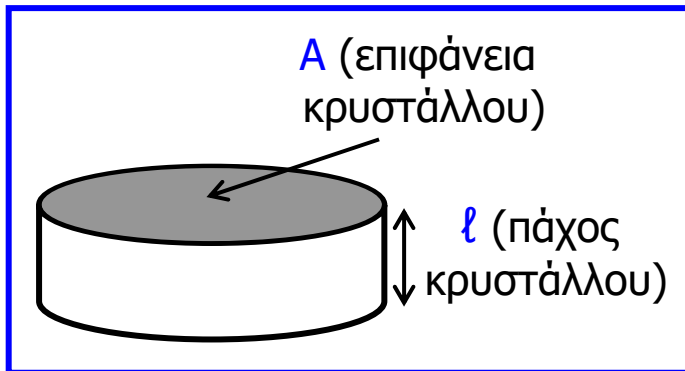
$$\frac{V_o + \Delta V_o}{V_i} = \frac{\ell + \Delta \ell}{\ell_{\max}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_i} = \frac{\Delta \ell}{\ell_{\max}} \Rightarrow \Delta \ell = \frac{\ell_{\max} \cdot \Delta V_o}{V_i} = 10 \text{ mm}$$

$$P = \frac{d \cdot \lambda}{A} \Rightarrow P = \frac{\Delta \ell \cdot \lambda}{A} \Rightarrow P = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 500}{0.05} \Rightarrow P = 100 \text{ Pa}$$

Άσκηση 6^η

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες ανιχνεύουν την εφαρμοζόμενη πίεση μέσω της παραμόρφωσης ενός κρυστάλλου που περιέχουν. Θεωρίστε πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα που περιέχει κυλινδρικό κρύσταλλο χαλαζία. Προσδιορίστε το φορτίο που εμφανίζεται στον κρύσταλλο, εάν μετά από την εφαρμογή μίας δύναμης F στον αισθητήρα, ο κρύσταλλος παραμορφώνεται κατά 1 mm. Προσδιορίστε επίσης την εφαρμοζόμενη δύναμη F και την εφαρμοζόμενη πίεση P . Δίνονται για το χαλαζία ο πιεζοηλεκτρικός συντελεστής φορτίου $d = 2 \times 10^{-12}$ C/N και η σταθερά ελαστικότητας $E = 38$ GPa. Για τον κρύσταλλο δίνονται το πάχος $\ell = 0.5$ cm και η επιφάνεια βάσης $A = 1$ cm².



Το εμφανιζόμενο φορτίο (q) στον κρύσταλλο λόγω της δύναμης F που προκαλεί την παραμόρφωση:

$$q = K \cdot \Delta \ell$$

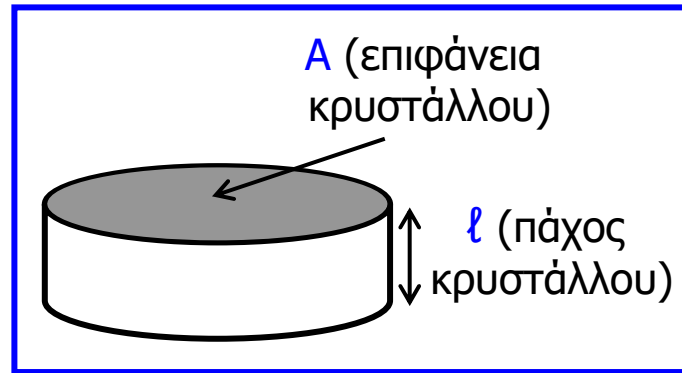
$$q = d \cdot F$$

$$E = \frac{P}{\frac{\Delta \ell}{\ell}} = \frac{F/A}{\frac{\Delta \ell}{\ell}}$$

$$K = \frac{q}{\Delta \ell} = \frac{d \cdot F}{\Delta \ell} = \frac{d \cdot E \cdot A}{\ell} = \frac{2 \cdot 10^{-12} \cdot 38 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-4}}{0.5 \cdot 10^{-2}} = 1.52 \cdot 10^{-3} \text{ C/m}$$

$$q = 1.52 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 1.52 \mu\text{C}$$

Άσκηση 6^η



Η εφαρμοζόμενη δύναμη F μπορεί να υπολογιστεί με δύο τρόπους:

$$q = d \cdot F \Rightarrow F = \frac{q}{d} = \frac{1.52 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-12}} = 0.76 \text{ MN}$$

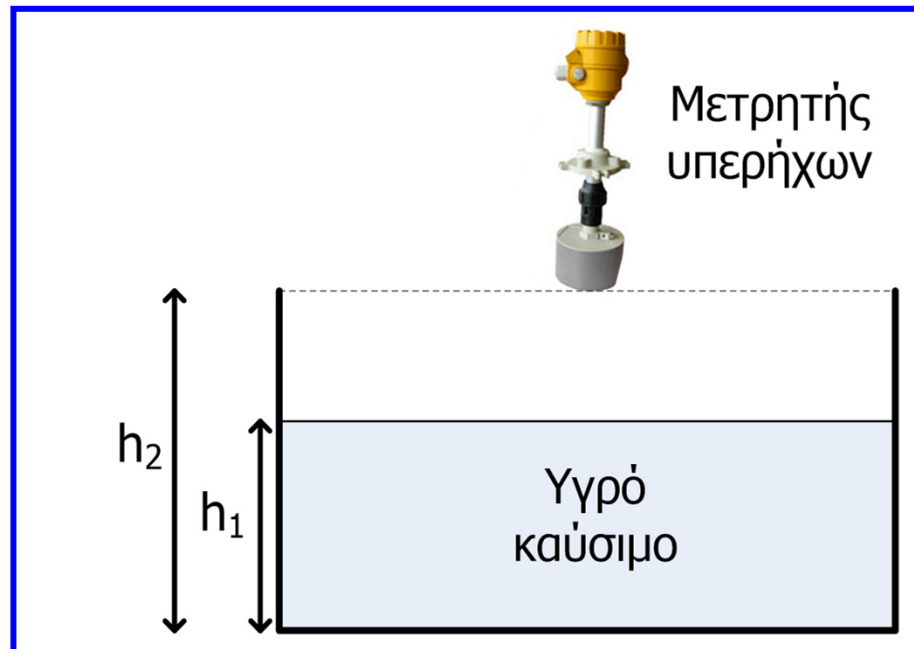
$$E = \frac{F/A}{\Delta l/l} \Rightarrow F = \frac{E \cdot A \cdot \Delta l}{l} = \frac{38 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 10^{-2}} = 0.76 \text{ MN}$$

Η αντίστοιχη εφαρμοζόμενη πίεση P , υπολογίζεται ως εξής:

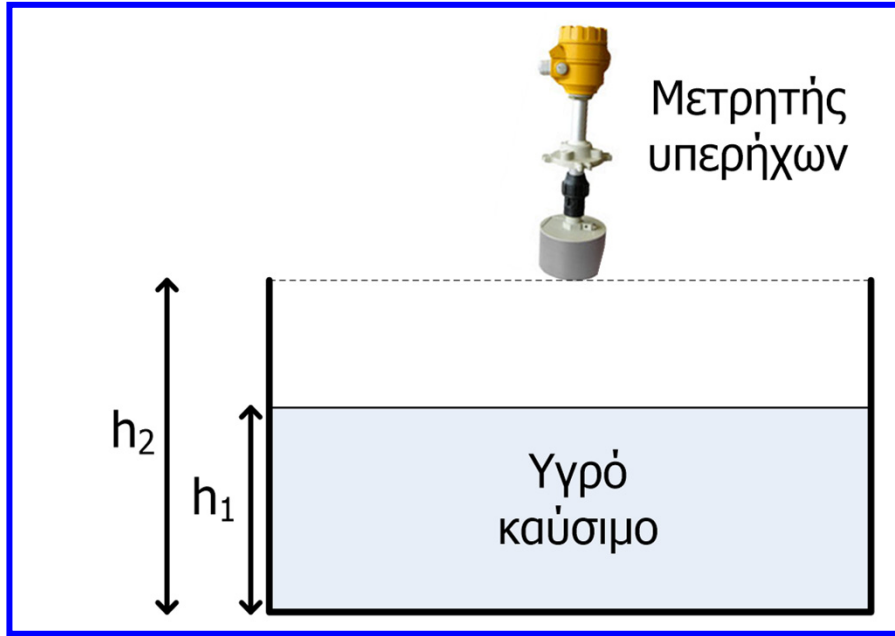
$$P = \frac{F}{A} = \frac{0.76 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^{-4}} = 7.6 \cdot 10^9 \text{ N/m} = 7.6 \text{ GPa}$$

Άσκηση 7^η

Μετρητής υπερήχων τοποθετείται στην οροφή ανοιχτής δεξαμενής, η οποία έχει γεμιστεί μερικώς με υγρό καύσιμο. Μετά την εκπομπή του κατάλληλου σήματος υπερήχων από το μετρητή, η άφιξη του πρώτου παλμού που παρατηρεί ο χρήστης στην οθόνη του μετρητή συμβαίνει μετά από χρονικό διάστημα $t = 10 \text{ msec}$. Να προσδιορίσετε το ύψος της στάθμης του υγρού της δεξαμενής (h_1). Δίνεται το συνολικό ύψος της δεξαμενής $h_2 = 4.25 \text{ m}$ και ότι το μήκος της διαδρομής ενός ηχητικού σήματος ισούται με το γινόμενο της ταχύτητας διάδοσης του ήχου ($c = 340 \text{ m/sec}$) επί τη διάρκεια της διαδρομής.



Άσκηση 7η



Σε χρόνο $t = 10 \text{ ms}$ η διαδρομή του σήματος υπερήχων είναι το διπλάσιο της απόστασης από την οροφή της δεξαμενής έως τη στάθμη του υγρού, δηλαδή $2 \cdot (h_2 - h_1)$, συνεπώς:

$$\begin{aligned} 2 \cdot (h_2 - h_1) &= c \cdot t \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{c \cdot t}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow h_2 - h_1 &= \frac{340 \text{ m/sec} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ sec}}{2} \\ \Rightarrow h_2 - h_1 &= 1.7 \text{ m} \end{aligned}$$

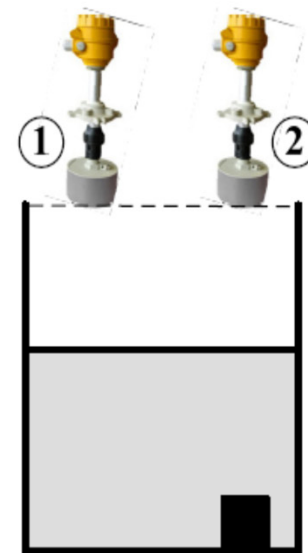
Αφού δίνεται το συνολικό ύψος της δεξαμενής h_2 , υπολογίζουμε το ύψος της στάθμης του υγρού h_1 :

$$h_2 - h_1 = 1.7 \text{ m} \Rightarrow h_1 = 4.25 \text{ m} - 1.7 \text{ m} \Rightarrow h_1 = 2.55 \text{ m}$$

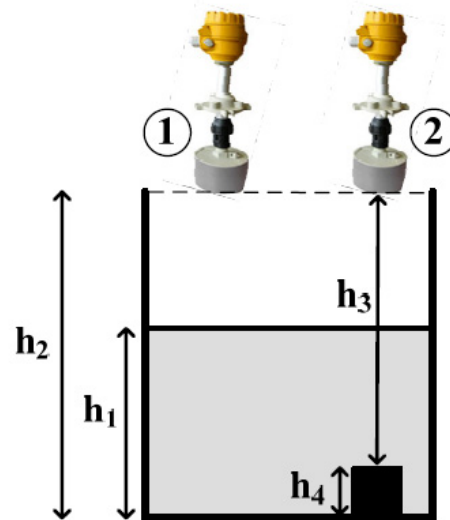
Άσκηση 8η

Δύο όμοιοι μετρητές υπερήχων είναι τοποθετημένοι στην οροφή της ανοιχτής **κυλινδρικής δεξαμενής** διαμέτρου 5 m του παρακάτω σχήματος, η οποία περιέχει πόσιμο νερό, καθώς και ένα **αντικείμενο κυβικού σχήματος** στον πυθμένα της. Μετά την εκπομπή σήματος υπερήχων από το μετρητή 1, η άφιξη του πρώτου παλμού που παρατηρεί ο χρήστης στην οθόνη του μετρητή συμβαίνει μετά από χρονικό διάστημα $t_1 = 15$ msec, ενώ η άφιξη του δεύτερου παλμού μετά από χρονικό διάστημα $t_2 = 35$ msec. Μετά την εκπομπή σήματος υπερήχων από το μετρητή 2, η άφιξη του δεύτερου παλμού που παρατηρεί ο χρήστης στην οθόνη του μετρητή συμβαίνει μετά από χρονικό διάστημα $t_3 = 30$ msec. Δίνονται η ταχύτητα διάδοσης του ήχου $c = 340$ m/sec και η σταθερά $\pi = 3.14$.

- (α) Να προσδιορίσετε τον όγκο του αντικειμένου που βρίσκεται στο πυθμένα της δεξαμενής σε λίτρα και τον όγκο του νερού που περιέχεται στη δεξαμενή σε λίτρα.
- (β) Να προσδιορίσετε το απόλυτο και το εκατοστιαίο σφάλμα που προκύπτει εάν κατά τον προσδιορισμό του όγκου του νερού που περιέχεται στη δεξαμενή δε ληφθεί υπόψη η παρουσία του αντικειμένου στον πυθμένα της δεξαμενής.



Άσκηση 8η



(α) Όσον αφορά τον μετρητή 1, σε χρόνο $t_1 = 15 \text{ ms}$ διανύεται διαδρομή σήματος υπερήχων ίση με το διπλάσιο της απόστασης από την οροφή της δεξαμενής έως τη στάθμη του νερού, δηλαδή $2 \cdot (h_2 - h_1)$, συνεπώς:

$$2 \cdot (h_2 - h_1) = c \cdot t_1 \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{c \cdot t_1}{2} \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \text{ sec}}{2} \Rightarrow h_2 - h_1 = 2.55 \text{ m} .$$

Σε χρόνο $t_2 = 35 \text{ ms}$ διανύεται διαδρομή σήματος υπερήχων ίση με το διπλάσιο της απόστασης από την οροφή της δεξαμενής έως τον πυθμένα της, δηλαδή $2 \cdot h_2$, συνεπώς:

$$2 \cdot h_2 = c \cdot t_2 \Rightarrow h_2 = \frac{c \cdot t_2}{2} \Rightarrow h_2 = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 35 \cdot 10^{-3} \text{ sec}}{2} \Rightarrow h_2 = 5.95 \text{ m} .$$

Άσκηση 8η

Μετά τον προσδιορισμό του h_2 , προσδιορίζουμε εύκολα και το h_1 :

$$h_2 - h_1 = 2.55 \text{ m} \Rightarrow h_1 = 5.95 \text{ m} - 2.55 \text{ m} \Rightarrow h_1 = 3.40 \text{ m}.$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η στάθμη του νερού (h_1) είναι 3.40 m.

Όσον αφορά τον μετρητή 2, σε χρόνο $t_3 = 30 \text{ ms}$ διανύεται διαδρομή σήματος υπερήχων ίση με το διπλάσιο της απόστασης από την οροφή της δεξαμενής έως την οροφή του αντικειμένου ($2 \cdot h_3$), συνεπώς:

$$2 \cdot h_3 = c \cdot t_3 \Rightarrow h_3 = \frac{c \cdot t_3}{2} \Rightarrow h_3 = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \text{ sec}}{2} \Rightarrow h_3 = 5.10 \text{ m}.$$

Μετά τον προσδιορισμό του h_3 , προσδιορίζουμε εύκολα το ύψος του αντικειμένου h_4 :

$$h_4 = h_2 - h_3 = 5.95 \text{ m} - 5.10 \text{ m} \Rightarrow h_4 = 0.85 \text{ m}.$$

Αφού, το αντικείμενο είναι κυβικού σχήματος, ο όγκος του υπολογίζεται ως εξής:

$$V_A = h_4^3 \Rightarrow V_A = 0.85^3 \text{ m}^3 \Rightarrow V_A = 0.614 \text{ m}^3 \Rightarrow V_A = 614 \text{ lt}.$$

Για να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού θα πρέπει να αφαιρέσουμε τον όγκο του αντικειμένου που βρίσκεται στον πυθμένα της δεξαμενής:

Άσκηση 8η

$$V_N = \pi \cdot R^2 \cdot h_1 - V_A \Rightarrow V_N = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h_1 - V_A \Rightarrow V_N = 3.14 \cdot \left(\frac{5\text{m}}{2}\right)^2 \cdot 3.4\text{m} - 0.614\text{m}^3$$

$$\Rightarrow V_N = 66.725\text{m}^3 - 0.614\text{m}^3 \Rightarrow V_N = 66.111\text{m}^3 \Rightarrow V_N = 66111\text{lt}.$$

- (β) Εάν κατά τον προσδιορισμό του όγκου του νερού που περιέχεται στη δεξαμενή δε ληφθεί υπόψη η παρουσία του αντικειμένου στον πυθμένα της δεξαμενής, τότε ο όγκος του νερού προσδιορίζεται ως εξής:

$$V_N = \pi \cdot R^2 \cdot h_1 \Rightarrow V_N = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h_1 \Rightarrow V_N = 3.14 \cdot \left(\frac{5\text{m}}{2}\right)^2 \cdot 3.4\text{m} \Rightarrow V_N = 66725\text{lt}.$$

Το απόλυτο σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της τιμής που προσδιορίστηκε χωρίς να ληφθεί υπόψη η παρουσία του αντικειμένου και εκφράζεται ως προς τις μονάδες της μετρούμενης ποσότητας. Συνεπώς, το απόλυτο σφάλμα λόγω της αγνόησης του αντικειμένου, είναι:

$$e = |r - x| \Rightarrow e = |66111 - 66725|\text{lt} \Rightarrow e = 614\text{lt}.$$

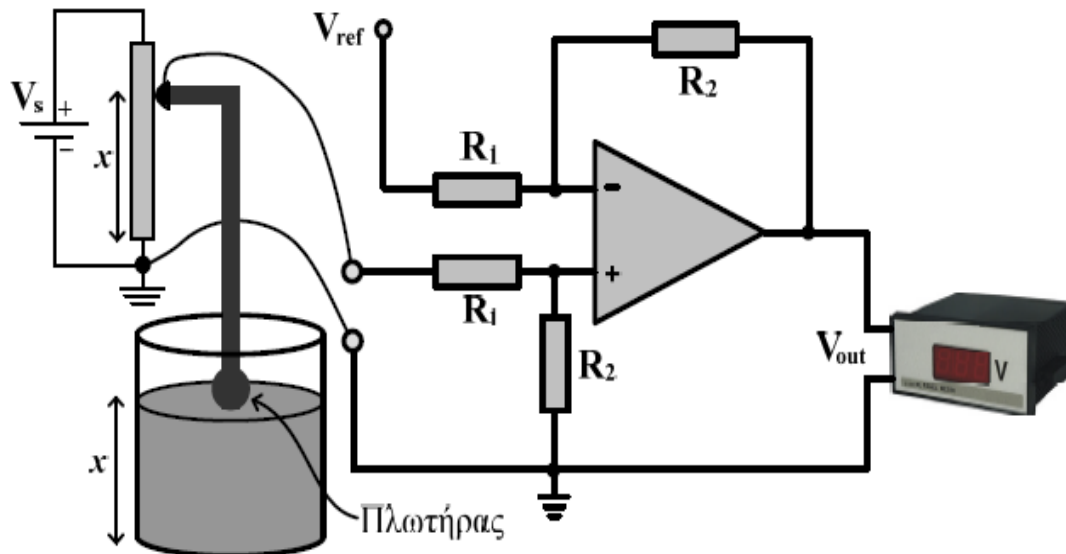
Είναι προφανές ότι το απόλυτο σφάλμα συμπίπτει με τον όγκο του αντικειμένου.

Το εκατοστιαίο σφάλμα που οφείλεται στην αγνόηση του αντικειμένου, είναι:

$$e(\%) = \left(\frac{|r - x|}{r}\right) \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = \left(\frac{|66111 - 66725|}{66111}\right) \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = 0.93\%.$$

Άσκηση 9η

Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, για τη μέτρηση της στάθμης υγρού σε έναν κυλινδρικό δοκιμαστικό σωλήνα με ύψος $l = 5$ cm και διάμετρο $d = 5$ cm, χρησιμοποιείται ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο με μήκος αντίστασης l και τάση εισόδου $V_s = 2$ V. Η έξοδος του ποτενσιόμετρου συνδέεται σε ενισχυτή διαφοράς (που περιλαμβάνει ιδανικό τελεστικό ενισχυτή) με τιμές αντιστάσεων $R_1 = 20$ k Ω , $R_2 = 160$ k Ω και τάση αναφοράς $V_{ref} = 700$ mV. Στην κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου στερεώνεται κατάλληλα ένας πλωτήρας (φλοτέρ) που είναι τοποθετημένος εντός του δοκιμαστικού σωλήνα, έτσι ώστε ανάλογα με τη στάθμη της δεξαμενής να μεταβάλλεται και η αντίσταση εξόδου του ποτενσιόμετρου. Εάν η αντίσταση του ποτενσιόμετρου είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση R_1 , να προσδιορίσετε τη στάθμη και τον όγκο του υγρού στο δοκιμαστικό σωλήνα, όταν η ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου είναι 4 V. Η τιμή της σταθεράς π είναι 3.1416.



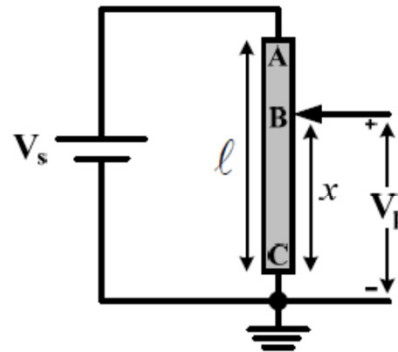
Άσκηση 9η

Επειδή η αντίσταση R_1 που αποτελεί το φορτίο του διαιρέτη τάσης (ποτενσιόμετρο) είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση του ποτενσιόμετρο, το ρεύμα που κατευθύνεται προς την έξοδο του ποτενσιόμετρο είναι αμελητέο. Εάν V_p είναι η τάση εξόδου του ποτενσιόμετρο (δηλαδή η τάση μεταξύ της κινητής επαφής του ποτενσιόμετρο και της γείωσης), τότε μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$V_p = I_s \cdot R_{BC} \Rightarrow V_p = \frac{V_s}{R_{AB} + R_{BC}} \cdot R_{BC} \Rightarrow V_p = V_s \cdot \frac{R_{BC}}{R_{AC}}.$$

Επίσης, επειδή η τιμή της αντίστασης είναι ανάλογη με το μήκος της ($R = \rho \cdot \ell / A$, όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του μετάλλου της αντίστασης και ℓ , A είναι το μήκος και η διατομή της αντίστασης, αντίστοιχα), μπορούμε να γράψουμε:

$$V_p = V_s \cdot \frac{R_{BC}}{R_{AC}} \Rightarrow V_p = V_s \cdot \frac{x}{\ell}. \quad (1)$$



Αποδεικνύεται (βλέπε την Ενότητα 4 των διαλέξεων του μαθήματος), ότι η τάση εξόδου του ενισχυτή διαφοράς (δηλαδή, η ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου), έχει ως εξής:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{in2} - V_{in1}) \Rightarrow V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_p - V_{ref}). \quad (2)$$

Άσκηση 9η

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1) και (2), μπορούμε να υπολογίσουμε τη στάθμη του υγρού (x):

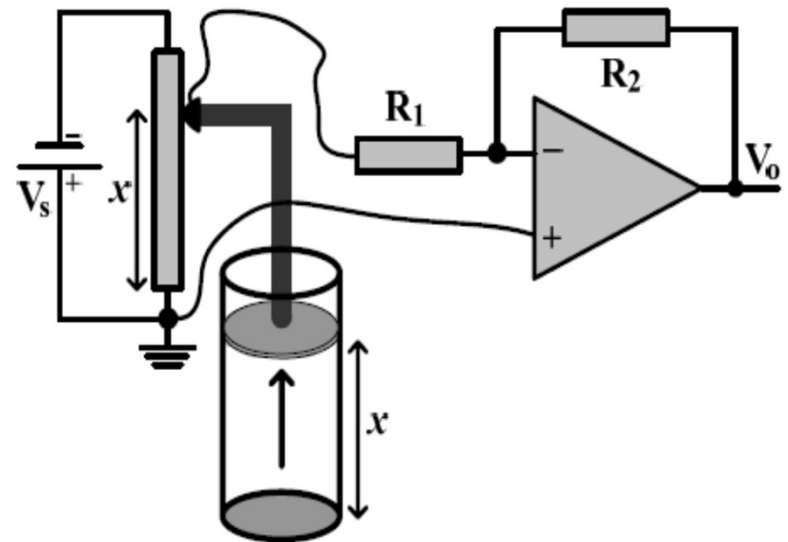
$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1} \left(V_s \cdot \frac{x}{\ell} - V_{\text{ref}} \right) \Rightarrow V_{\text{out}} + \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{\text{ref}} = \frac{R_2 \cdot V_s}{R_1 \cdot \ell} \cdot x \Rightarrow x = \frac{V_{\text{out}} + \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{\text{ref}}}{\frac{R_2 \cdot V_s}{R_1 \cdot \ell}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow x = \frac{V_{\text{out}} \cdot R_1 \cdot \ell}{R_2 \cdot V_s} + \frac{V_{\text{ref}} \cdot \ell}{V_s} \Rightarrow x = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{160 \cdot 10^3 \cdot 2} + \frac{0.7 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{2} \text{ m} \Rightarrow x = 3 \text{ cm}.$$

Ο όγκος του υγρού που περιέχεται στο δοκιμαστικό σωλήνα, υπολογίζεται ως εξής:

$$V = x \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 \Rightarrow V = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 3.1416 \cdot \left(\frac{5 \cdot 10^{-2}}{2} \right)^2 \text{ m}^3 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V = 9.425 \cdot 10^{-2} \cdot 6.25 \cdot 10^{-4} \Rightarrow V = 58.9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \Rightarrow V \approx 59 \text{ cm}^3.$$

Άσκηση 10η

Στο σύστημα του διπλανού σχήματος συμμετέχουν ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο με μήκος αντίστασης $\ell = 5 \text{ cm}$, στο οποίο εφαρμόζεται συνεχής τάση $V_s = 2 \text{ V}$, ένα έμβολο σε κύλινδρο ύψους ℓ , το οποίο έχει τη δυνατότητα να μετακινεί την κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου, δύο αντιστάσεις $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 160 \text{ k}\Omega$, καθώς και ένας ιδανικός τελεστικός ενισχυτής. Όταν ασκείται μια δύναμη στο έμβολο στην κατεύθυνση που υποδεικνύεται στο διπλανό σχήμα, τότε προκαλείται σε αυτό μετατόπιση x , ανάλογη με την ασκούμενη δύναμη.



- Εάν η αντίσταση του ποτενσιόμετρου είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση R_1 , να προσδιορίσετε την τάση εξόδου (V_o) σε σχέση με τη μετατόπιση x του εμβόλου.
- Με βάση τη σχέση που προσδιορίσατε στο ερώτημα (α) και αφού αποφανθείτε για τις ακραίες τιμές της τάσης εξόδου (μέγιστη και ελάχιστη), καθώς και τις μετατοπίσεις για τις οποίες αυτές προκύπτουν, να σχεδιάσετε με ακρίβεια το διάγραμμα της τάσης εξόδου (V_o) ως προς τη μετατόπιση του εμβόλου (x).
- Εάν η αντίσταση του ποτενσιόμετρου είναι ίση με την αντίσταση R_1 , να προσδιορίσετε με ακρίβεια την τάση εξόδου (V_o), όταν η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στο μέσο της αντίστασης του.
- Ποιο είναι το απόλυτο και ποιο το εκατοστιαίο σφάλμα που προκύπτει εάν εφαρμοστεί η σχέση που προσδιορίσατε στο ερώτημα (α) για τον υπολογισμό της τάσης εξόδου του ερωτήματος (γ);

Άσκηση 10η

- (α) Επειδή η αντίσταση R_1 που αποτελεί το φορτίο του διαιρέτη τάσης (ποτενσιόμετρο) είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση του ποτενσιόμετρου, το ρεύμα που κατευθύνεται προς την έξοδο του ποτενσιόμετρου είναι αμελητέο. Εάν V_p είναι η τάση εξόδου του ποτενσιόμετρου (δηλαδή η τάση μεταξύ της κινητής επαφής του ποτενσιόμετρου και της γείωσης), τότε μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$V_p = I_s \cdot R_{BC} \Rightarrow V_p = -\frac{V_s}{R_{AB} + R_{BC}} \cdot R_{BC} \Rightarrow V_p = -V_s \cdot \frac{R_{BC}}{R_{AC}}.$$

Επίσης, επειδή η τιμή της αντίστασης είναι ανάλογη με το μήκος της ($R = \rho \cdot \ell / A$, όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του μετάλλου της αντίστασης και ℓ , A είναι το μήκος και η διατομή της αντίστασης, αντίστοιχα), μπορούμε να γράψουμε:

$$V_p = -V_s \cdot \frac{R_{BC}}{R_{AC}} \Rightarrow V_p = -V_s \cdot \frac{x}{\ell}. \quad (1)$$

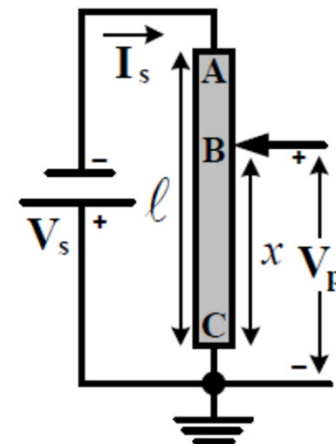
Λόγω του ότι ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός παρουσιάζει άπειρη αντίσταση εισόδου (δηλαδή, μηδενικό ρεύμα εισόδου) και οι τάσεις στους δύο ακροδέκτες του (+, -) είναι ίσες (δηλαδή, μηδενικές). Έτσι, μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$I_{R_1} = I_{R_2} \Rightarrow \frac{V_p}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \Rightarrow V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_p \Rightarrow V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_s \cdot \frac{x}{\ell} \Rightarrow V_o = \frac{V_s \cdot R_2}{\ell \cdot R_1} \cdot x. \quad (2)$$

Αντικαθιστώντας τις δεδομένες τιμές στη σχέση (2), λαμβάνουμε τη ζητούμενη σχέση:

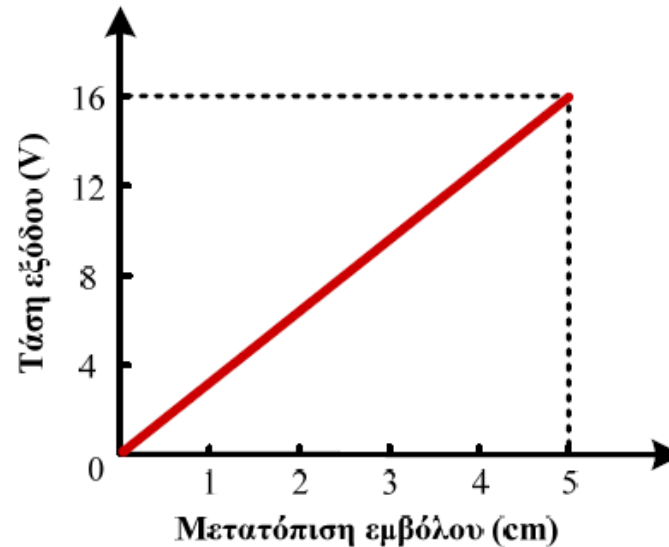
$$V_o = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 10^3} \cdot x \Rightarrow V_o = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 10^3} \cdot x \Rightarrow V_o = 320 \cdot x. \quad (3)$$

Στην παραπάνω σχέση η τάση εξόδου είναι σε V και η μετατόπιση σε m.



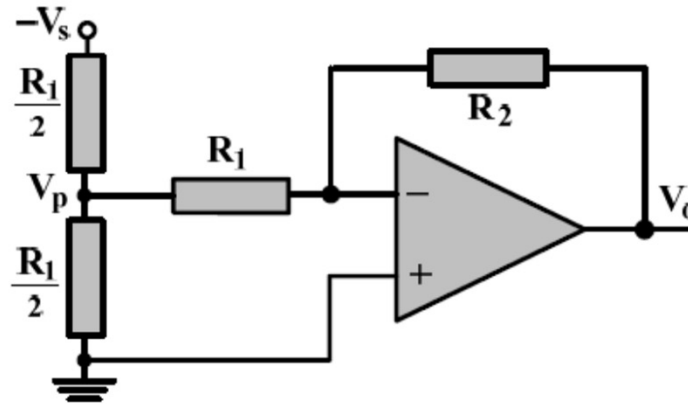
Άσκηση 10η

- (β) Είναι προφανές ότι η ελάχιστη τιμή της τάσης είναι μηδενική και προκύπτει για μηδενική μετατόπιση, δηλαδή, όταν το έμβολο βρίσκεται στην κατώτερη θέση του και η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στη θέση C. ενώ η μέγιστη τιμή της τάσης προκύπτει όταν η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στη θέση A, δηλαδή όταν το έμβολο βρίσκεται στην ανώτερη θέση του και η μετατόπιση ισούται με ℓ . Η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου προκύπτει από τη σχέση (3) για $x = \ell = 5 \text{ cm}$ και είναι 16 V . Αφού λοιπόν η σχέση (3) αποτελεί γραμμική συνάρτηση της τάσης εξόδου ως προς τη μετατόπιση του εμβόλου, με βάση τα προαναφερόμενα, μπορούμε εύκολα να σχεδιάσουμε το ζητούμενο διάγραμμα:



Άσκηση 10η

- (γ) Όταν η αντίσταση του ποτενσιόμετρου είναι ίση με την R_1 , δε μπορούμε να εφαρμόσουμε τη σχέση (1), διότι το ρεύμα που κατευθύνεται προς την έξοδο του ποτενσιόμετρου είναι αξιοσημείωτο και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον προσδιορισμό της τάσης εξόδου (V_o). Έτσι, όταν η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στο μέσο της αντίστασης του, το κύκλωμα λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:



Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε τη μέθοδο ανάλυσης των κόμβων, δηλαδή εφαρμόζουμε τον 1^ο κανόνα Kirchhoff στους κόμβους του κυκλώματος, εξαιρώντας τους κόμβους της εισόδου και της εξόδου του. Θα πρέπει να εξισώσουμε το άθροισμα των αγωγιμοτήτων (δηλαδή των αντίστροφων αντιστάσεων) που ξεκινούν από τους κόμβους αυτούς, πολλαπλασιασμένο με την τάση τους, με το άθροισμα των γινομένων των αγωγιμοτήτων αυτών με τις τάσεις των κόμβων στους οποίους καταλήγουν.

Έτσι, στον κόμβο εξόδου του ποτενσιόμετρου (λαμβάνοντας υπόψη ότι η τάση της αντιστρέφουσας εισόδου του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με εκείνη της μη αντιστρέφουσας εισόδου, δηλαδή μηδενική), έχουμε:

$$\left(\frac{2}{R_1} + \frac{2}{R_1} + \frac{1}{R_1} \right) \cdot V_p = -\frac{2}{R_1} \cdot V_s + \frac{2}{R_1} \cdot 0 + \frac{1}{R_1} \cdot 0 \Rightarrow \frac{5}{R_1} \cdot V_p = -\frac{2}{R_1} \cdot V_s \Rightarrow V_p = -\frac{2}{5} \cdot V_s. \quad (4)$$

Άσκηση 10η

Στο ερώτημα (α) μετά την εφαρμογή του 1^{ου} κανόνα Kirchhoff στον ακροδέκτη αντιστροφής του τελεστικού ενισχυτή, προέκυψε ότι:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_p \quad (5)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (4) και (5), προκύπτει ότι:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{2}{5} \cdot V_s \Rightarrow V_o = \frac{160 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \cdot \frac{2}{5} \cdot V_s \Rightarrow V_o = 8 \cdot \frac{2}{5} \cdot V_s \Rightarrow V_o = 3.2 \cdot V_s \Rightarrow V_o = 6.4 \text{ V}.$$

- (δ) Εάν εφαρμόσουμε τη σχέση (3) για την περίπτωση όπου η κινητή επαφή του ποτενσιόμετρου βρίσκεται στο μέσο της αντίστασης του, δηλαδή για την περίπτωση όπου $x = \ell/2 = 2.5 \text{ cm}$, τότε προκύπτει ότι:

$$V_o = 320 \cdot x \Rightarrow V_o = 320 \cdot 2.5 \cdot 10^{-2} \text{ V} \Rightarrow V_o = 8 \text{ V}.$$

Το ζητούμενο απόλυτο και εκατοστιαίο σφάλμα υπολογίζεται κατά σειρά, ως εξής:

$$e = |r - x| \Rightarrow e = |6.4 - 8| \text{ V} \Rightarrow e = 1.6 \text{ V},$$

$$e(\%) = \left(\frac{|r - x|}{r} \right) \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = \left(\frac{|6.4 - 8|}{6.4} \right) \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = 25 \%,$$

όπου r είναι η τιμή της τάσης που προσδιορίστηκε με ακρίβεια [ερώτημα (γ)] και x η τιμή της τάσης εξόδου που προσδιορίστηκε με τη θεώρηση ότι το ρεύμα που κατευθύνεται προς την έξοδο του ποτενσιόμετρου είναι αμελητέο [ερώτημα (α)].

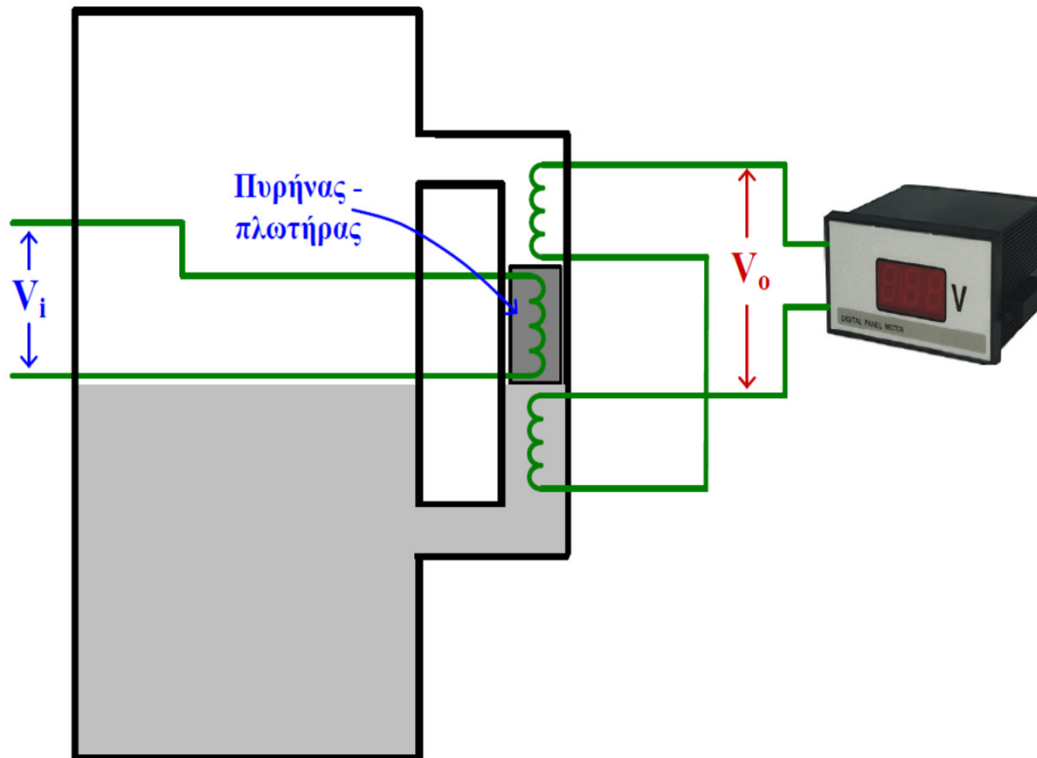
Άσκηση 11η

Η διάταξη μέτρησης μικρών μεταβολών στάθμης υγρού, που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, περιλαμβάνει κυλινδρικό δοχείο με ενσωματωμένη στήλη παρατήρησης, στο εσωτερικό της οποίας έχει τοποθετηθεί ένας LVDT. Ο πυρήνας του LVDT λειτουργεί ως πλωτήρας και μετατοπίζεται κατά d προς τα πάνω ή προς τα κάτω, όταν η στάθμη του υγρού στο δοχείο αυξάνεται ή μειώνεται κατά d , αντίστοιχα. Όταν η στάθμη του υγρού βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου, ο πυρήνας βρίσκεται στο μέσο του συστήματος των πηνίων του LVDT. Στην είσοδο του LVDT εφαρμόζεται ημιτονικό σήμα τάσης (V_i) με πλάτος (μέγιστη τιμή) 2 V και συχνότητα 20 kHz και η τάση εξόδου του (V_{out}) μετριέται με ψηφιακό βολτόμετρο. Στο δεύτερο σχήμα παρουσιάζεται η καμπύλη ρύθμισης του LVDT, δηλαδή η γραφική παράσταση του πλάτους (μέγιστης τιμής) της τάσης εξόδου του σε σχέση με την μετατόπιση του πυρήνα. Οι θετικές τιμές της μετατόπισης αντιστοιχούν σε μετατόπιση του πυρήνα προς τα κάτω και οι αρνητικές τιμές της αντιστοιχούν σε μετατόπιση του πυρήνα προς τα πάνω. Οι θετικές τιμές του πλάτους της τάσης εξόδου του LVDT υποδηλώνουν ότι οι τάσεις εισόδου και εξόδου του LVDT είναι συμφασικές και οι αρνητικές τιμές της υποδηλώνουν ότι η διαφορά φάσης της τάσης εξόδου ως προς την τάση εισόδου του LVDT είναι 180° . Δίνεται ότι $1/\sqrt{2} \approx 0.7$, καθώς και ότι $\pi = 3.14$.

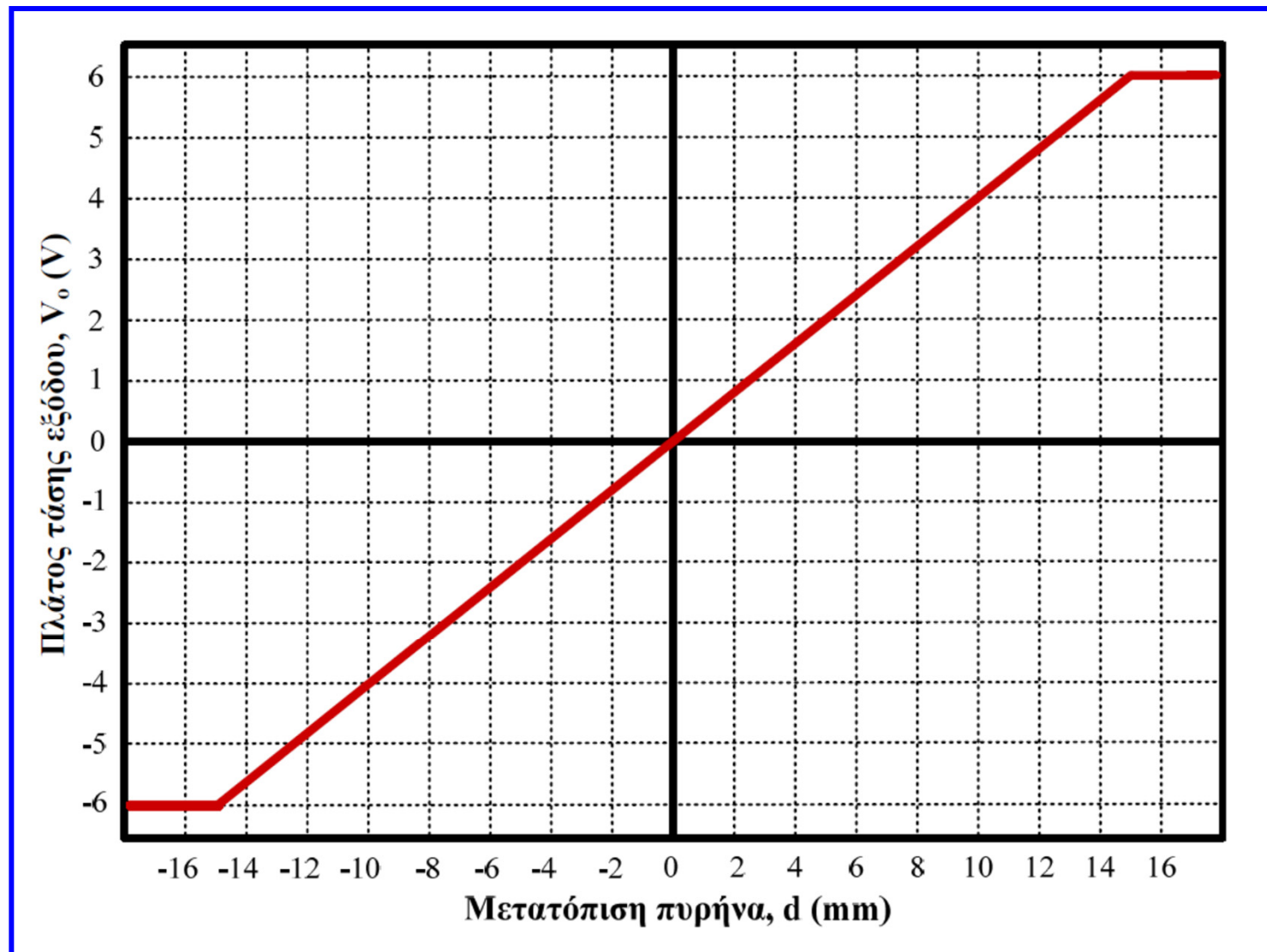
- (α) Να υπολογίσετε το εύρος λειτουργίας εισόδου (full-scale input, FSI), το εύρος λειτουργίας εξόδου (full-scale output, FSO) και την ευαισθησία του LVDT. Οι τιμές των ζητούμενων παραμέτρων, χωρίς να αναφέρονται οι αντίστοιχες μονάδες μέτρησής τους, δε γίνονται δεκτές.
- (β) Να προσδιορίσετε την ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου σε σχέση με τη μεταβολή (d) της στάθμης προς μία κατεύθυνση, θεωρώντας ότι η αρχική στάθμη του υγρού βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου. Ποια είναι η μέγιστη μείωση στάθμης από την αρχική στάθμη, για την οποία ισχύει η σχέση που προσδιορίσατε;
- (γ) Να υπολογίσετε την ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου, όταν η στάθμη μειωθεί κατά 2 cm σε σχέση με την αρχική που βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου. Γι' αυτή την περίπτωση, να σχεδιάσετε στους ίδιους άξονες, τις κυματομορφές της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου του LVDT, για διάστημα μίας περιόδου.

Άσκηση 11η

- (δ) Θεωρήστε ότι χρησιμοποιούμε ανορθωτή πλήρους κύματος με δυνατότητα ανίχνευσης διαφοράς φάσης, για να μετατρέψουμε την τάση εξόδου (V_{out}) του LVDT σε συνεχή τάση και στην έξοδο του ανορθωτή συνδέουμε το ψηφιακό βολτόμετρο. Για τη συνδεσμολογία αυτή, να υπολογίσετε την ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου, όταν η στάθμη μειωθεί κατά 2 cm σε σχέση με την αρχική που βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου και να σχεδιάσετε την κυματομορφή της τάσης εξόδου του ανορθωτή, για διάστημα μιας περιόδου.



Άσκηση 11η



Άσκηση 11η

- (α) Από την καμπύλη ρύθμισης του LVDT, προκύπτει ότι το εύρος λειτουργίας εισόδου (full-scale input, FSI) είναι από -15 mm έως 15 mm ή 30 mm και ότι το εύρος λειτουργίας εξόδου (full-scale output, FSO) είναι από -6 V έως 6 V ή 12 V .

Η ευαισθησία του LVDT είναι η κλίση της γραφικής παράστασης του πλάτους της τάσης εξόδου του LVDT ως προς τη μετατόπιση του πυρήνα και υπολογίζεται εύκολα ως εξής:

$$S = \frac{V_{o\max}}{d} = \frac{6 \text{ V}}{15 \text{ mm}} = 4 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 400 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

- (β) Όταν η στάθμη του πυρήνα αυξάνεται ή μειώνεται κατά d , τότε ο πυρήνας μετατοπίζεται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά d και με βάση την ευαισθησία του LVDT που υπολογίστηκε στο ερώτημα (α), το πλάτος (μέγιστη τιμή) της τάσης εξόδου του LVDT είναι:

$$V_{o\max} = S \cdot d \Rightarrow V_{o\max} = 400 \cdot d. \quad (2)$$

Η ζητούμενη ένδειξη του βολτομέτρου θα είναι η ενεργός τιμή της τάσης εξόδου που ισούται με:

$$\text{Ένδειξη ψηφιακού βολτομέτρου} = \frac{V_{o\max}}{\sqrt{2}} = 0.7 \cdot V_{o\max} \stackrel{(2)}{\Rightarrow}$$

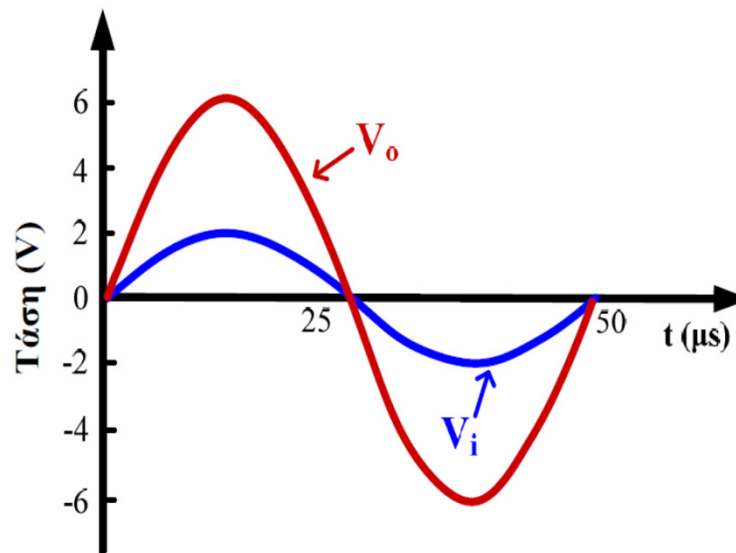
$$\text{Ένδειξη ψηφιακού βολτομέτρου} = 0.7 \cdot 400 \cdot d = 280 \cdot d.$$

Στις παραπάνω σχέσεις, η μεταβολή της στάθμης δίνεται σε m και η τάση σε V . Η παραπάνω σχέση ισχύει έως ότου γίνει μέγιστη η σύζευξη στο ένα δευτερεύον πηνίο και μηδενιστεί στο άλλο δευτερεύον πηνίο του LVDT. Επιπλέον μετατόπιση του πυρήνα (μεταβολή της στάθμης) μετά το σημείο αυτό, δεν οδηγεί σε επιπλέον μεταβολή του πλάτους της τάσης εξόδου (φαινόμενο κόρου). Σύμφωνα με την καμπύλη ρύθμισης του LVDT, το φαινόμενο κόρου στη διάταξής μας, συμβαίνει για μετατοπίσεις μεγαλύτερες από 1.5 cm (προς τα πάνω ή προς τα κάτω). Επομένως, η μέγιστη μείωση της στάθμης από την αρχική στάθμη, για την οποία ισχύει η σχέση που προσδιορίστηκε, είναι 1.5 cm .

Άσκηση 11η

- (γ) Με βάση τα παραπάνω, όταν η στάθμη μειωθεί κατά 2 cm σε σχέση με την αρχική που βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου, η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου του LVDT θα είναι 6 V (φαινόμενο κόρου) και η ένδειξη του ψηφιακού βολτομέτρου θα είναι $0.7 \cdot 6 \text{ V} = 4.2 \text{ V}$.

Όπως αναφέρεται στην εκφώνηση, όταν ο πυρήνας μετατοπίζεται προς τα κάτω (μείωση στάθμης), οι τάσεις εισόδου και εξόδου του LVDT είναι συμφασικές. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη ότι το πλάτος της τάσης εισόδου του LVDT είναι 2 V, ενώ το πλάτος της τάσης εξόδου είναι 6 V, σχεδιάζουμε στους ίδιους άξονες τις κυματομορφές των δύο τάσεων για διάστημα μίας περιόδου. Αφού η τάση εισόδου του LVDT είναι ημιτονικό σήμα συχνότητας 20 kHz, δηλαδή ημιτονικό σήμα με περίοδο $T = 1 / (20 \text{ kHz}) = 50 \mu\text{s}$, η τάση εξόδου (V_{out}) του LVDT θα είναι ημιτονικό σήμα με την ίδια περίοδο, συμφασικό με το σήμα εισόδου.

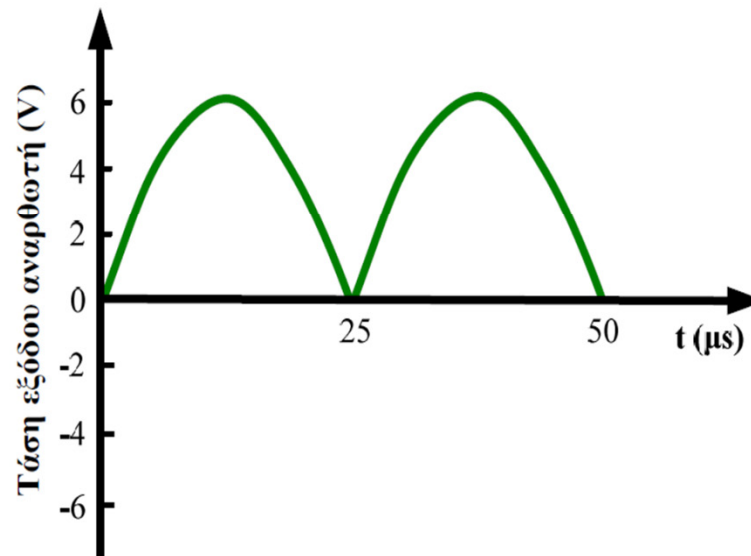


Άσκηση 11η

- (δ) Όπως προαναφέρθηκε, όταν η στάθμη μειωθεί κατά 2 cm σε σχέση με την αρχική που βρίσκεται στο μέσο του ύψους του δοχείου, η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου του LVDT θα είναι 6 V. Η ένδειξη του βολτομέτρου (κλίμακα DC) στην περίπτωση αυτή, ισούται με τη μέση τιμή της τάσης εξόδου του ανορθωτή:

$$\frac{2 \cdot V_{o\max}}{\pi} = \frac{2 \cdot 6}{3.14} \text{ V} = 3.82 \text{ V} .$$

Επισημαίνεται ότι, όταν τα σήματα τάσης εισόδου και εξόδου του LVDT είναι συμφασικά (μετακίνηση του πυρήνα προς τα κάτω), η συνεχής τάση εξόδου του ανορθωτή (ο οποίος έχει δυνατότητα ανίχνευσης διαφοράς φάσης) είναι θετική, με μέση τιμή $2 \cdot V_{o\max} / \pi$. Η κυματομορφή της τάσης εξόδου του ανορθωτή, για διάστημα μιας περιόδου, παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:





Τέλος 7^{ης} ενότητας