

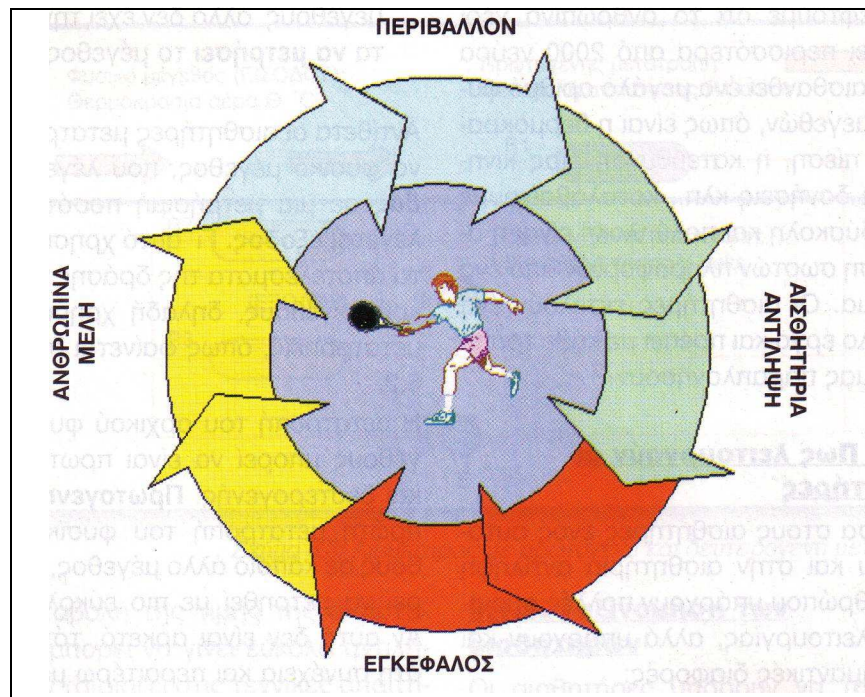
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για να ανταποκριθούμε επιτυχώς στον απρόβλεπτο κόσμο μας, είναι απαραίτητη η απόκτηση σωστών πληροφοριών. Αυτή η λεπτή εργασία γίνεται σε κάθε σύγχρονη εφαρμογή από ειδικούς και ευαίσθητους μηχανισμούς, τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες μπορούν να είναι ξεχωριστές συσκευές ή πολύπλοκες κατασκευές, αλλά όποια και να είναι η μορφή τους λειτουργούν όλοι με την ίδια βασική αρχή, που είναι η ανίχνευση ενός σήματος ή μίας πληροφορίας και η παραγωγή μίας μετρήσιμης εξόδου. Η πληροφορία αυτή μπορεί να προέρχεται από διάφορες φυσικές παραμέτρους οι οποίες απαιτούν μέτρηση όπως η θέση, ταχύτητα, ροή, δύναμη, θερμοκρασία κτλ. Η τεχνολογία στην κατασκευή αισθητήρων εξελίσσεται ραγδαία. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί διαφορετικού τύπου αισθητήρες, που μπορεί να δώσουν μετρήσεις για το ίδιο μέγεθος. Πάντοτε όμως επικρατούν οι αισθητήρες που έχουν τα καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά, μεγάλη αντοχή και φυσικά την πιο προσιτή τιμή.

### 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Για να κατανοήσουμε όμως την λειτουργία και τον σκοπό των αισθητήρων θα ήταν καλό να προσφύγουμε σε μια σύγκριση μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και σε μίας απλής εφαρμογής αισθητήριων οργάνων. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος παίρνει πληροφορίες από το περιβάλλον του χρησιμοποιώντας τις πέντε αισθήσεις του. Στη συνέχεια, επεξεργάζεται και συνδυάζει τις πληροφορίες αυτές, παίρνει αποφάσεις και τις εκτελεί με τα μέλη του ανθρώπινου σώματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα..



Σχήμα : Ανθρώπινος εγκέφαλος και αισθητήρια αντίληψη

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο λειτουργεί και ο "εγκέφαλος" της εφαρμογής , ο μικροϋπολογιστής. Η ομοιότητα φαίνεται αν προσέξουμε τις παρακάτω αντιστοιχίες μεταξύ ανθρώπου και του συστήματος της εφαρμογής.

<b>ΑΝΘΡΩΠΟΣ</b>	<p><b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ =&gt; ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b></p> <p><b>ΑΙΣΘΗΣΕΙΣ =&gt; ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ</b></p> <p><b>ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ =&gt; ΜΙΚΡΟΥΪΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ</b></p> <p><b>ΑΝΘΡΩΠΙΝΑ ΜΕΛΗ =&gt; ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ</b></p>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------

Αν σκεφτούμε ότι το ανθρώπινο χέρι διαθέτει περισσότερα από 2000 νεύρα για να αισθανθεί ένα μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών, όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η κατεύθυνση μιας κίνησης, οι δονήσεις κλπ, καταλαβαίνουμε ότι η απόκτηση πληροφοριών δεν είναι και τόσο απλή υπόθεση. Έτσι οι αισθητήρες εκτελούν ένα αρκετά δύσκολο έργο βοηθώντας μας σε αυτή την περίπλοκη εργασία.

Ο ρόλος των διαφόρων αισθητήρων στην εφαρμογή είναι η απόκτηση πληροφοριών για τα συστήματα της εφαρμογής και το περιβάλλον, με σκοπό την αντιμετώπιση μεταβολών και απρόβλεπτων καταστάσεων (δράση) και την επαλήθευση της ποιότητας στα αποτελέσματα πολλών ενεργειών (ανάδραση).

Βασικά υπάρχουν δύο ξεχωριστές περιοχές όπου χρησιμοποιείται η τεχνολογία των αισθητήρων : η συλλογή πληροφορίας και ο έλεγχος συστημάτων μέσω αυτών.

Οι αισθητήρες (ανιχνευτές) χρησιμοποιούνται για την συλλογή πληροφορίας με σκοπό την γνωστοποίηση των δεδομένων που παρέχει αυτή η πληροφορία, έτσι ώστε να είναι διαρκώς γνωστή η μεταβαλλόμενη κατάσταση των παραμέτρων ενός συστήματος, όπως είναι για παράδειγμα ένας απλός αισθητήρας μέτρησης στάθμης υγρού μιας δεξαμενής ή ο ανιχνευτής ταχύτητας ενός αυτοκινήτου.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο συστημάτων σε σύγκριση με αυτούς που χρησιμοποιούνται για συλλογή πληροφορίας διαφέρουν μόνο ως προς τον τρόπο αξιοποίησης της πληροφορίας αυτής. Σε ένα σύστημα ελέγχου ο αισθητήρας εφόσον συλλέξει την πληροφορία τροφοδοτεί με το σήμα του έναν ελεγκτή, ο οποίος παράγει μια έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου. Για παράδειγμα ενώ με έναν αισθητήρα μέτρησης καταγράφουμε απλώς την στάθμη μιας δεξαμενής, με έναν αισθητήρα ελέγχου και φυσικά περαιτέρω συστημάτων μπορούμε να διατηρήσουμε την στάθμη του υγρού σε ένα επιθυμητό επίπεδο.

Η τεχνολογία έχει προοδεύσει ραγδαία τα τελευταία χρόνια, οι περίπλοκες συσκευές που βρίσκονται σήμερα στους χώρους δουλειάς, διασκέδασης, το σπίτι, κτλ περιλαμβάνουν τεχνολογίες που πριν από λίγα χρόνια αποτελούσαν εργαστηριακές εφευρέσεις.

Το κύριο αίτιο για την ύπαρξη αυτού του εξοπλισμού είναι η εξέλιξη των υπολογιστών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ελεγκτές. Έτσι εφόσον συλλέγεται η πληροφορία από τους αισθητήρες, ρυθμίζεται να έχει την κατάλληλη μορφή, στη συνέχεια παρέχεται στο σύστημα υπολογιστή, όπου εκεί αξιοποιείται και δημιουργεί μια κατάλληλη απόκριση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### **2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΟΡΟΛΟΓΙΑ**

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα σε πολλούς βιομηχανικούς, στρατιωτικούς, οικιακούς και δημόσιους τομείς. Επειδή η φύση και οι εφαρμογές των αισθητήρων καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο είναι σημαντικό να τους κατατάξουμε σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι τα συστήματα μέτρησης, τα συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου και τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου.

### **2.2 Συστήματα μέτρησης**

Ένα σύστημα μέτρησης καταγράφει μια μεταβλητή ποσότητα και εμφανίζει ανάλογη ποσοτική έξοδο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα :

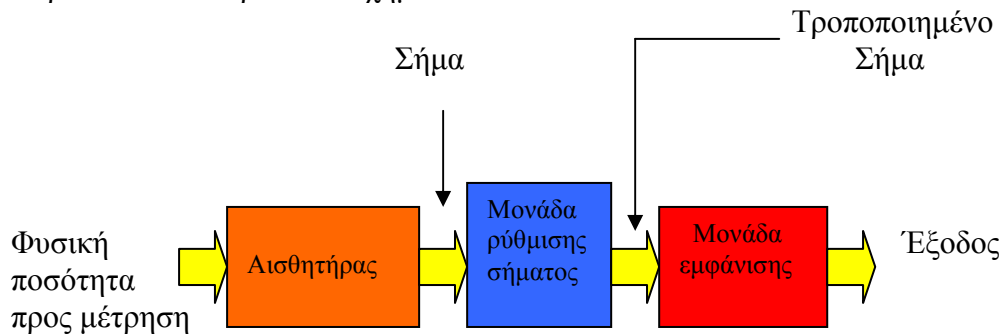
#### **Διαδικασία μέτρησης**



Τα συστήματα μέτρησης δεν αντιδρούν στην τιμή της ποσότητας εισόδου, παρά μόνο την καταγράφουν και την εμφανίζουν στο χρήστη. Για παράδειγμα θεωρούμε ένα απλό θερμόμετρο υδραργύρου, η είσοδος σε αυτό το σύστημα μέτρησης είναι η θερμότητα του αέρα που μεταφέρεται στο θερμόμετρο ενώ η ποσοτική έξοδος είναι η ένδειξη του θερμομέτρου στην κατανοητή κλίμακα βαθμών Κελσίου για τον χρήστη. Και φυσικά το παραπάνω σύστημα δεν μπορεί να ελέγξει σε καμία περίπτωση την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Βέβαια το παραπάνω παράδειγμα είναι μια πολύ απλή διαδικασία μέτρησης με αποτέλεσμα οι λειτουργίες ανίχνευσης, ρύθμισης σήματος και εμφάνισης της μέτρησης να ενσωματώνονται όλες μαζί στο θερμόμετρο, δηλαδή η μετατροπή της θερμότητας του αέρα σε κίνηση της στήλης υδραργύρου αποτελεί την ρύθμιση(μετατροπή) του σήματος, ενώ την μονάδα εμφάνισης της μέτρησης αποτελεί η κλίμακα Κελσίου.

Έτσι προκύπτει το παρακάτω σχήμα :



Σχήμα : Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος μέτρησης

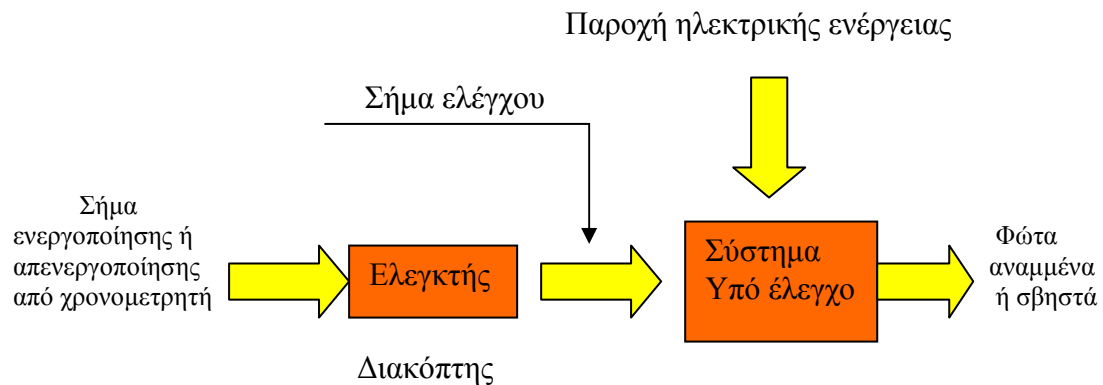
Ο αισθητήρας μετατρέπει την φυσική ποσότητα που μετριέται σε ένα σήμα, η μονάδα ρύθμισης του σήματος τροποποιεί το σήμα σε ένα σήμα που μπορεί να αξιοποιηθεί από την μονάδα εμφάνισης η οποία εμφανίζει και την μέτρηση. Έτσι εάν για παράδειγμα το σήμα που δίνει ο αισθητήρας είναι μια ηλεκτρική τάση τότε ίσως αυτή η τάση να πρέπει να ενισχυθεί, ή αν πρόκειται για κάποια μηχανική κίνηση να πρέπει είτε να ενισχυθεί ή ακόμα και να μετατραπεί σε μια διαφορετική κίνηση. Έτσι το τροποποιημένο σήμα φτάνει στη μονάδα εμφάνισης όπου καταγράφεται και εμφανίζεται σε εμάς με διάφορους τρόπους όπως π.χ ως αριθμητική έξοδο, μετακίνησης κάποιας βελόνας κτλ.

## 2.2 Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου

Τα συστήματα αυτά έχουν σκοπό την διατήρηση μιας μεταβλητής σε κάποια επιθυμητή προκαθορισμένη τιμή. Η βάση ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι αυτό ελέγχεται από ένα σήμα που έχει προκαθορισμένη τιμή. Αυτό ίσως αποτελεί μειονέκτημα διότι η προκαθορισμένη τιμή δεν πρόκειται να αλλάξει, ακόμα και αν οι άλλοι παράγοντες αλλάξουν, και επομένως καταστήσουν την έξοδο του συστήματος ανακριβή.

Ως παράδειγμα σε αυτό το σύστημα θεωρούμε ένα σύστημα το οποίο ανάβει και σβήνει τα φώτα στους δρόμους μιας πόλης. Με τη βοήθεια ενός χρονομετρητή καθορίζεται το σήμα ελέγχου το οποίο καθορίζει με την σειρά του πότε θα ανάψουν ή θα σβήσουν τα φώτα. Το συγκεκριμένο σήμα δεν πρόκειται να αλλάξει εάν δεν επέμβει ανθρώπινος παράγοντας. Δηλαδή μέσω του χρονομετρητή έχει προκαθοριστεί τα φώτα να ανάβουν στις 20:00 η ώρα το βράδυ και να σβήνουν στις 06:00 το πρωί κατά τους θερινούς μήνες. Ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες θα πρέπει να επαναπρογραμματιστεί ο χρονοδιακόπτης στις ώρες εκείνες τις οποίες βραδιάζει ή ξημερώνει αντίστοιχα. Επομένως απαιτείται συχνή επέμβαση από τον άνθρωπο ώστε το σύστημα να λειτουργεί ικανοποιητικά.

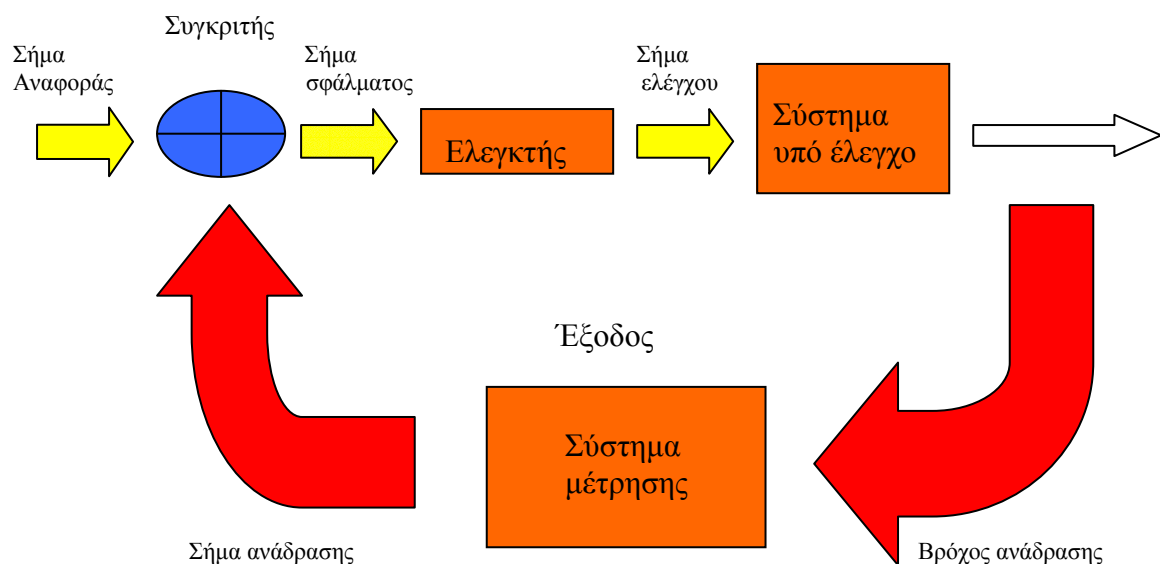
Τα συστήματα ανοικτού βρόχου είναι απλά στη σχεδίαση και οικονομικά στη κατασκευή, παρόλα αυτά αποδεικνύονται μη αποδοτικά λόγω τις συχνής παρέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα.



Σχήμα : Σύστημα δημοτικού φωτισμού βασισμένο σε χρονομέτρηση

### 2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου η κατάσταση της εξόδου επηρεάζει άμεσα την κατάσταση της εισόδου. Δηλαδή ένα τέτοιο σύστημα μετρά την τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου στην έξοδο και την συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή. Η διαφορά αυτών των δύο τιμών ονομάζεται σφάλμα. Όμως για να κατανοήσουμε καλύτερα τα συστήματα αυτά παραθέτουμε το παρακάτω σχήμα :



Σχήμα : Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου

Η επιθυμητή τιμή ονομάζεται *σήμα αναφοράς*, αυτό συγκρίνεται με το σήμα από την συσκευή μέτρησης που ονομάζεται *σήμα ανάδρασης*, η διαφορά που προκύπτει μετά

την σύγκριση ονομάζεται *σήμα σφάλματος*. Το σήμα σφάλματος στη συνέχεια τροποποιείται έτσι ώστε να ρυθμίζεται η απόδοση του συστήματος. Το τροποποιημένο σήμα ονομάζεται πλέον *σήμα ελέγχου*, το οποίο και ρυθμίζει την έξοδο έτσι ώστε το σήμα ανάδρασης να πλησιάζει την τιμή του σήματος αναφοράς. Τότε το σήμα σφάλματος θα μειωθεί στο μηδέν και θα επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

## **2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ – ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ**

Σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο, από τη στιγμή που το καύσιμο αναμειγνύεται στον εξαερωτήρα (καρμπρατέρ) με τον αέρα, ακολουθεί μέσα από την πολλαπλή εισαγωγή προς τον κινητήρα (κυλίνδρους) για καύση και εξαγωγή προς την εξάτμιση (σχήμα 2.1). Μια πορεία χωρίς καμία δυνατότητα ρύθμισης ή διόρθωσης, δηλαδή πρόκειται για ένα σύστημα ανοικτού βρόχου.

Ακόμα και στα σύγχρονα συστήματα με ηλεκτρονικό ψεκασμό, ακόμα και αν το μείγμα ρυθμιστεί με μεγάλη ακρίβεια, η ποιότητα καύσης ή το αποτέλεσμα της καύσης αν δεν ελέγχεται με κάποιο τρόπο και δεν υπάρχει δυνατότητα διόρθωσης, το σύστημα συμπεριφέρεται ως σύστημα ανοικτού βρόχου.



Σχήμα 2.1

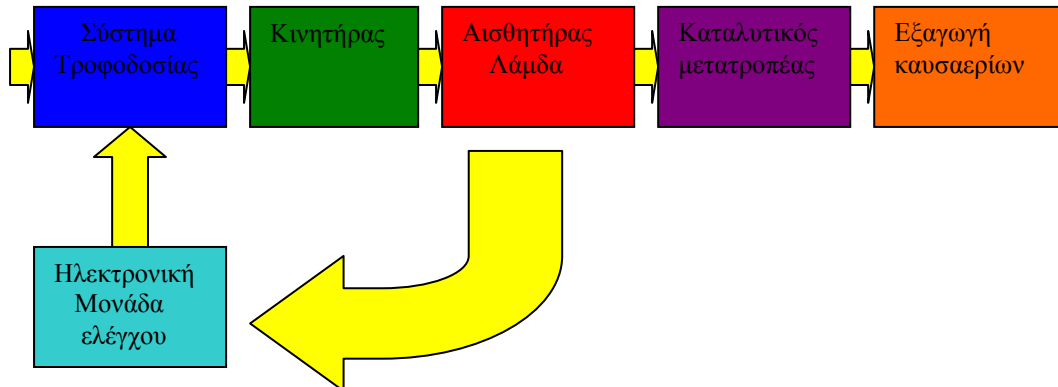
Αν όμως μετά το αποτέλεσμα (έξοδος) υπάρχει έλεγχος – μέτρηση και δυνατότητα διόρθωσης – ρύθμισης του πιθανού λάθους, τότε το σύστημα θεωρείται κλειστού βρόχου. Αυτή η δυνατότητα του συνεχούς ελέγχου και διόρθωσης κάνει τα συστήματα κλειστού βρόχου να αυτορυθμίζονται και να συμπεριφέρονται σχεδόν τέλεια.

Στα σύγχρονα αυτοκίνητα έχει προστεθεί ένας αισθητήρας οξυγόνου ή αισθητήρας λάμδα (Βλ. εφαρμογές αισθητήρων στο αυτοκίνητο). Αυτός ο αισθητήρας ελέγχει – μετράει στην πολλαπλή εξαγωγή το οξυγόνο που περιέχεται στα καυσαέρια. Ελέγχει το αποτέλεσμα, δηλαδή αν η διαδικασία ανάμειξης καυσίμου – αέρα και η ποιότητα καύσης, λειτούργησαν σωστά και έδωσαν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Αν το αποτέλεσμα (ποσότητα οξυγόνου στα καυσαέρια) δεν είναι σωστό, τότε ο αισθητήρας οξυγόνου ενημερώνει την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας (εγκέφαλο) ότι η καύση έγινε με πλούσιο μείγμα (λίγο οξυγόνο στα καυσαέρια). Ο "εγκέφαλος" διορθώνει αμέσως, δίνοντας εντολή στα μπέκ να ψεκάσουν για λιγότερο χρόνο έτσι ώστε να γίνει πιο φτωχό το μίγμα. Το φτωχό τώρα μίγμα εντοπίζεται από τον αισθητήρα οξυγόνου και ενημερώνει τον "εγκέφαλο" και αυτός με τη σειρά του διορθώνει ψεκάζοντας τα μπέκ για περισσότερο χρόνο.

Αυτή η συνεχής διόρθωση ανάμεσα σε δύο καταστάσεις, ώστε να επιτυγχάνεται η ιδανική κατάσταση χαρακτηρίζει τα συστήματα κλειστού βρόχου.

Η πληροφόρηση για την διόρθωση ονομάζεται ανάδραση (feedback) και είναι αυτή που μετατρέπει ένα ανοικτό σύστημα σε κλειστό.



Σχήμα : Παράδειγμα κλειστού βρόχου

## 2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα χαρακτηριστικά που ακολουθούν μπορούν να αναφέρονται στο όλο σύστημα μέτρησης και σε όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος, περιλαμβάνοντας τον αισθητήρα, την μονάδα ρύθμισης σήματος και τη συσκευή εμφάνισης – καταγραφής. Συνήθως αναφέρονται ως ποσοστά ή ως μέγιστη ή ως ελάχιστη τιμή.

### Ακρίβεια

Η ακρίβεια (accuracy) στην περίπτωση ενός αισθητήρα είναι ο βαθμός στον οποίο η τιμή την οποία δημιουργεί μπορεί να είναι εσφαλμένη, δηλαδή η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη μετρούμενη τιμή. Στην πράξη κάθε αισθητήρας παράγει κάποιο σφάλμα ως προς την μετρούμενη ποσότητα.

### Βαθμονόμηση

Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) αναφέρεται στην κλίμακα, στην οποία εμφανίζει η συσκευή καταγραφής την μετρούμενη ποσότητα.

### Νεκρή ζώνη

Με τον όρο νεκρή ζώνη εννοούμε το εύρος τιμών εισόδου (μετρούμενη ποσότητα) που δεν εμφανίζονται στην έξοδο. Οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες όπως στατική τριβή, υστέρηση, κτλ.

### Διαστάσεις

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα αναφέρονται στο φυσικό μέγεθος αυτού και αναγράφονται στις προδιαγραφές του.

## **Ολίσθηση**

Ολίσθηση (drift) ονομάζεται η φυσική τάση ενός αισθητήρα να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του λόγω χρόνου ή περιβαλλοντικών συνθηκών. Ολίσθηση εμφανίζεται σε μια συσκευή λόγω γήρανσης, οξείδωσης των υλικών κατασκευής ή λόγω αλλαγής της θερμοκρασίας, πίεσης, κτλ.

## **Σφάλμα**

Το σφάλμα ισούται με την διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή μιας ποσότητας.

## **Υστέρηση**

Όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνει με σταθερό βήμα έως ένα σημείο και κατόπιν μειωθεί με το ίδιο σταθερό βήμα η τιμές εξόδου που δίνει ο αισθητήρας σε όλο το φάσμα της αύξησης μπορεί να μην είναι ίδιες με τις τιμές που δίνει κατά την μείωση, στις αντίστοιχες τιμές ποσότητας. Δεν εμφανίζουν υστέρηση όλοι οι αισθητήρες, η υστέρηση προκαλείται ειδικότερα από μηχανική τάση και τριβή. Δηλαδή υστέρηση εμφανίζεται στα συστήματα που περιέχουν μηχανικά – κινητά μέρη τα οποία είναι κατασκευασμένα από υλικά που παρουσιάζουν τάση ελαστικότητας (πλαστικό, λάστιχο και κάποια μέταλλα).

## **Γραμμικότητα**

Η γραμμικότητα (linearity) ενός αισθητήρα αποτελεί το βαθμό, στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία γραμμή ως προς την γραφική παράσταση εισόδου. Δηλαδή βλέπουμε τον βαθμό απόκλισης της εξόδου ως προς την είσοδο.

## **Χρόνος λειτουργίας**

Ο χρόνος λειτουργίας (operating life) ενός αισθητήρα αποτελεί τον χρόνο, κατά τον οποίο αναμένεται να λειτουργήσει σωστά στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Συχνά αναφέρεται και ως reliability (αξιοπιστία) εννοώντας την ικανότητα του αισθητήρα να λειτουργεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες για μια δεδομένη χρονική περίοδο παραμένοντας στα πλαίσια των προδιαγραφών.

## **Επαναληψιμότητα**

Η επαναληψιμότητα (precision) ενός αισθητήρα είναι ο βαθμός στον οποίο αυτός παράγει την ίδια έξοδο, όταν τροφοδοτείται με την ίδια είσοδο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.



## **Εύρος**

Το εύρος λειτουργίας (operating range) ενός αισθητήρα καθορίζει την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρήσει.

## **Ονομαστική τιμή**

Η ονομαστική τιμή (rating) καθορίζει το σύνολο των βέλτιστων συνθηκών, ηλεκτρικών, μηχανικών κτλ, στις οποίες μπορεί ο αισθητήρας να λειτουργήσει με επιτυχία και ασφάλεια.

## **Απόκριση**

Η απόκριση ενός αισθητήρα (response) καθορίζει τον χρόνο που απαιτείται έτσι ώστε αυτός να παράγει μια έξοδο από μια δεδομένη είσοδο.

## **Διακριτική ικανότητα**

Η διακριτική ικανότητα (resolution) ενός αισθητήρα καθορίζει την μικρότερη είσοδο που μπορεί να ανιχνεύσει αυτός.

## **Ευαισθησία**

Η ευαισθησία (sensitivity) ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά της μέγιστης τιμής εξόδου μείον την ελάχιστης τιμής εξόδου προς την αντίστοιχη διαφορά εισόδου. Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία καθορίζονται από την μετρούμενη ποσότητα και την φύση του αισθητήρα. Δηλαδή εάν μετράμε απόσταση και ο αισθητήρας παρέχει τάση στην έξοδο του, τότε η ευαισθησία εκφράζεται σε volt/mm.

## **Ευστάθεια**

Η ευστάθεια (stability) αποτελεί το μέτρο μεταβολής της εξόδου ενός αισθητήρα, όταν η είσοδο και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα.

## **Ανοχή**

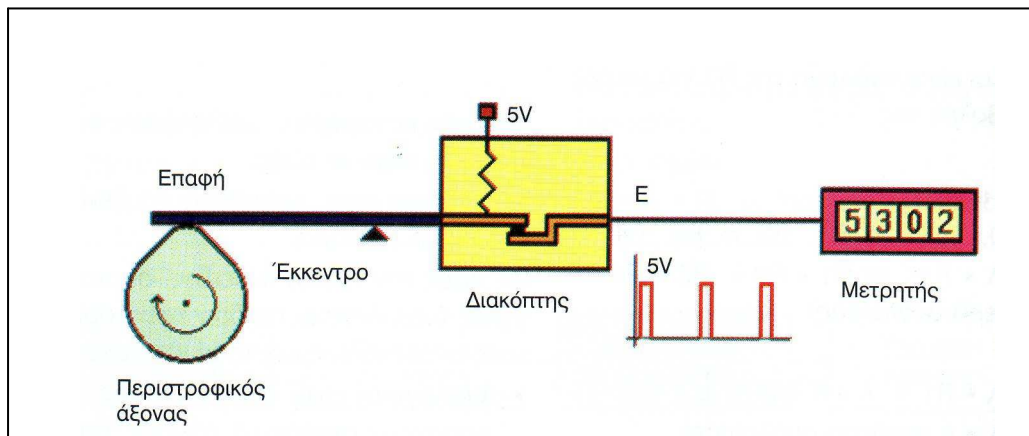
Η ανοχή (tolerance) ενός αισθητήρα καθορίζει το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να υπάρξει κατά την διάρκεια λειτουργίας αυτού.

## **2.6 Ταξινόμηση των αισθητήρων**

Οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με κάποιο κριτήριο, που θα επιλεγεί.

Πρώτο κριτήριο : μεταβολή της ένδειξης του αισθητήρα. Ως προς τον τρόπο ένδειξης, οι αισθητήρες διακρίνονται σε αναλογικούς και ψηφιακούς. ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ είναι οι αισθητήρες που παράγουν αναλογικά σήματα, δηλαδή συνεχώς μεταβαλλόμενα σήματα με ποικιλία τιμών. ΨΗΦΙΑΚΟΙ είναι οι αισθητήρες που παράγουν ψηφιακά σήματα, που έχουν μόνο δύο τιμές π.χ. 0/5 Volts

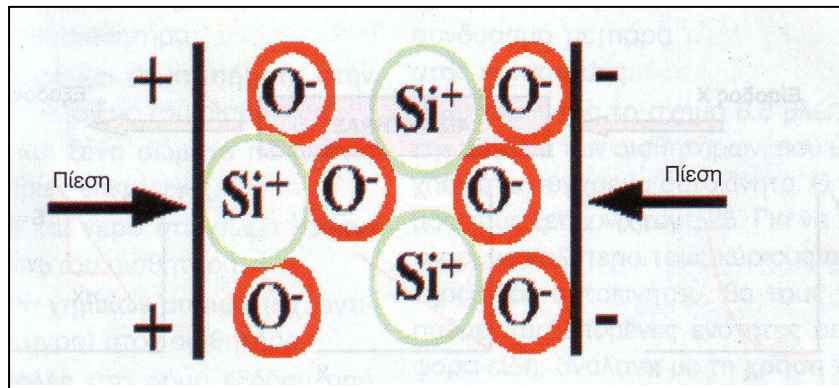
Δεύτερο κριτήριο : επαφή του αισθητήρα με το μετρούμενο μέγεθος. Αισθητήρες ΕΠΑΦΗΣ είναι οι αισθητήρες που πρέπει να έχουν πραγματική επαφή με το μετρούμενο μέγεθος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας ψηφιακός αισθητήρας επαφής για την μέτρηση στροφών άξονα. Το έκκεντρο που είναι προσαρμοσμένο στον άξονα, ανοιγοκλείνει σε κάθε περιστροφή ένα διακόπτη παράγοντας έτσι ένα ψηφιακό σήμα στην έξοδο E. Με το σήμα αυτό ενεργοποιείται ο ηλεκτρονικός μετρητής που καταγράφει τις πλήρεις στροφές του άξονα. Βέβαια το σύστημα αυτό δεν μπορεί να μετρήσει μια ενδιάμεση θέση του άξονα, κάτι που γίνεται εύκολα με έναν αναλογικό μετρητή στροφών.



Σχήμα : Ψηφιακός αισθητήρας επαφής

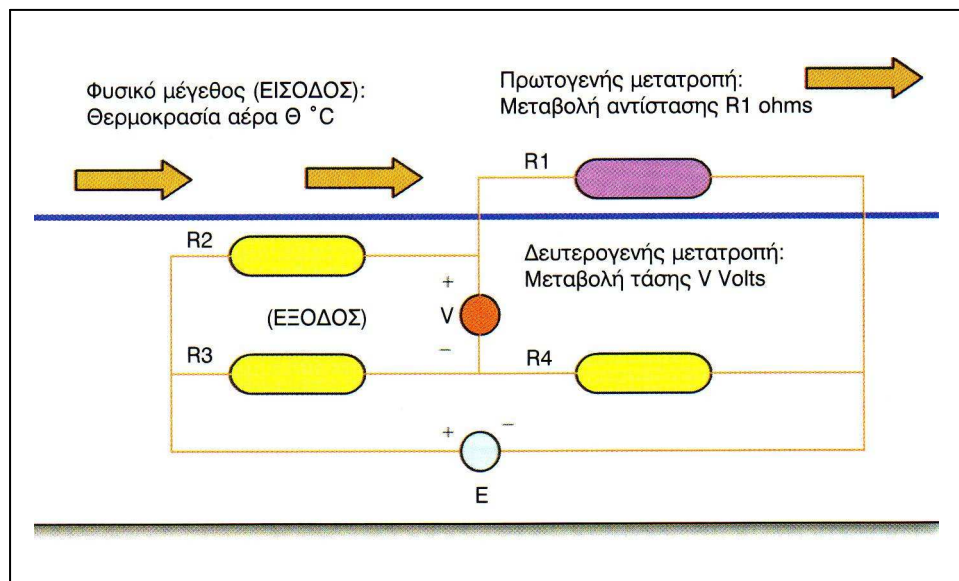
Οι αισθητήρες ΜΗ ΕΠΑΦΗΣ είναι οι αισθητήρες που δεν έχουν πραγματική επαφή με το μετρούμενο μέγεθος. Τέτοιοι είναι οι οπτικοί, μαγνητικοί και οι ηλεκτρομαγνητικοί. Το κυριότερο πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν έχουν τριβές με το μετρούμενο μέγεθος.

Τρίτο κριτήριο : χρήση εξωτερικής πηγής ενέργειας από τον αισθητήρα. ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ είναι οι αισθητήρες που δεν απαιτούν εξωτερική πηγή ενέργειας από ηλεκτρική πηγή αλλά παράγουν το σήμα εξόδου με απευθείας μετατροπή μηχανικής, θερμικής ή φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένας τέτοιος αισθητήρας είναι ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας από φυσικό κρύσταλλο χαλαζία (διοξείδιο του πυριτίου  $\text{SiO}_2$ ) που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Παθητικός πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας χαλαζία(quartz)

Με την εφαρμογή πίεσης στον κρύσταλλο αναπτύσσεται τάση ανάλογη της πίεσης, εξαιτίας της παραμόρφωσης του πλέγματος του φυσικού κρυστάλλου χαλαζία. ΕΝΕΡΓΟΙ αισθητήρες είναι αυτοί που απαιτούν εξωτερική ενέργεια από ηλεκτρική πηγή για να λειτουργήσουν. Για παράδειγμα, ο αισθητήρας αέρα με γέφυρα Wheatstone που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα είναι ένας αισθητήρας ενεργός διότι χρησιμοποιεί εξωτερική ηλεκτρική πηγή E για την λειτουργία του.



Σχήμα : Ενεργός αισθητήρας

Τέταρτο κριτήριο : αρχή λειτουργίας του αισθητήρα. Ως προς την αρχή λειτουργίας τους, οι αισθητήρες διακρίνονται σε ηλεκτρομηχανικούς, ηλεκτρομαγνητικούς, θερμικούς, πιεζοηλεκτρικούς, μαγνητικούς, επαγωγικούς, χωρητικούς, οπτικούς, χημικούς, κτλ. Ο διαχωρισμός αυτός σχετίζεται με τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος και τη δυνατότητα τους να λειτουργήσουν και αντίστροφα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ

Σε αυτό το σημείο θα είναι καλό να χωρίσουμε τους αισθητήρες μέτρησης σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος το οποίο αυτοί μετράνε. Έτσι καταλήγουμε στις παρακάτω κατηγορίες :

- Μέτρηση της κίνησης
- Μέτρηση στάθμης, ύψους, βάρους, όγκου
- Μέτρηση της πίεσης
- Μέτρηση της θερμοκρασίας
- Μέτρηση της ροής

### 3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε αισθητήρες που ανιχνεύουν τις ακόλουθες μορφές κίνησης :

- Ευθύγραμμη – Γραμμική μετατόπιση
- Γωνιακή μετατόπιση
- Προσέγγιση
- Επιτάχυνση

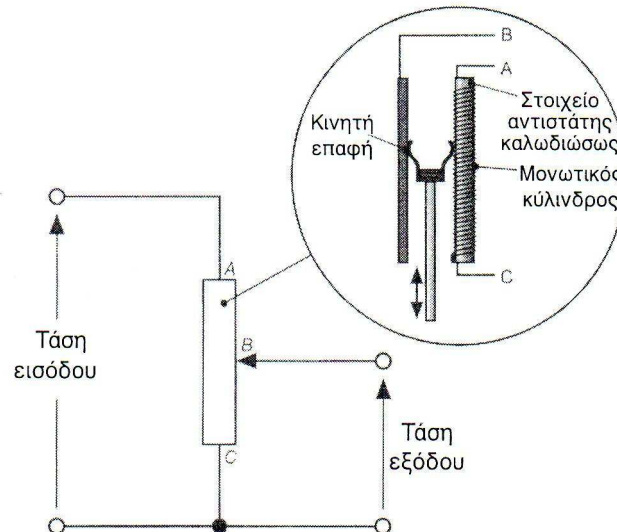
Οι μεγάλες μετατοπίσεις απαιτούν συστήματα υψηλής ακρίβειας και συνήθως μετριοούνται με ραντάρ, σόναρ, κτλ. Οι συσκευές που θα περιγράψουμε μετρούν μετατοπίσεις συνήθως μικρότερες του ενός μέτρου.

### 3.3 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ

#### Γραμμικό ποτενσιόμετρο

Το ποτενσιόμετρο είναι μια ηλεκτρική συσκευή με την μορφή μιας μεταβλητής αντίστασης. Στο παρακάτω σχήμα 3,1 παρουσιάζεται μια τυπική μορφή γραμμικού ποτενσιόμετρου. Αυτό αποτελείται από μία ολισθαίνουσα επαφή η οποία κινείται κατά μήκος του στοιχείου που εμφανίζει αντίσταση.

Η κινητή επαφή συνδέεται συνήθως με ένα έμβολο, το οποίο εφάπτεται με το αντικείμενο του οποίου η μετατόπιση θα μετρηθεί.



Σχήμα 3,1 : Γραμμικό ποτενσιόμετρο

Οι επαφές αυτές συνήθως κατασκευάζονται από κράματα χαλκού, αυτό γίνεται διότι τα κράματα χαλκού έχουν ελαστικές ιδιότητες, συνεπώς διατηρούν την καλή ηλεκτρική επαφή με την αντίσταση. Τα στοιχεία της αντίστασης (αντιστάτες) κατασκευάζονται από λεπτό σύρμα νικελίου ή λευκόχρυσου, το οποίο τυλίγεται γύρω από ένα μονωμένο κύλινδρο.

Για να μετρήσουμε την μετατόπιση του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει θα πρέπει να μετακινηθεί αυτό έτσι ώστε μεταφέρει την κίνηση αυτή στην κινητή επαφή. Άρα οποιαδήποτε κίνηση του αντικειμένου θα αλλάξει και την απόσταση (B C), με αποτέλεσμα την αλλαγή της τάσης εξόδου η οποία μετριέται με ένα βολτόμετρο.

Έτσι εάν εφαρμοστεί τάση εισόδου στα άκρα του συνολικού αντιστάτη (A C) ίση με  $V_1 = 5V$ , και η απόσταση A C = 100mm, η τάση εξόδου μετρήθηκε πριν την μετακίνηση και ήταν  $V_2 = 2.5V$ , ενώ μετά την μετακίνηση  $V_2 = 2,65 V$  και η απόσταση BC = 50mm, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την μετατόπιση του αντικειμένου. Επομένως έχουμε διαφορά τάσεων εισόδου – εξόδου ίση με 0,15V, άρα η μετατόπιση είναι  $\frac{0,15}{0,05} = 3mm$ . Και επειδή η τάση εξόδου έχει αυξηθεί σε σχέση με την τάση εισόδου η μετατόπιση έγινε προς το A.

Τα γραμμικά ποτενσιόμετρα χρησιμοποιούνται όταν το κόστος της εφαρμογής την οποία εξυπηρετούν πρέπει να είναι χαμηλό και η ακρίβεια όχι εξαιρετική. Χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στην καταγραφή θέσης των αντικειμένων σε μία γραμμή παραγωγής ή των έλεγχο διαστάσεων αντικειμένων.

### Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)

Οι γραμμικοί μεταβλητοί διαφορικοί μετασχηματιστές (linear variable differential transformers), είναι οι ποίο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες για τον ακριβή υπολογισμό μετατοπίσεων έως 300mm.

Ο αισθητήρας αυτός ονομάστηκε έτσι με βάση την αρχή λειτουργία του, δηλαδή καταρχήν είναι ένας μετασχηματιστής και υπακούει στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (Ο νόμος του Faraday δηλώνει ότι όταν ένας αγωγός

μετακινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη στα άκρα του, ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής).

Έχει ένα πρωτεύον πηνίο και δύο δευτερεύοντα πηνία, τα οποία συνδέονται και παρέχουν τη διαφορά των αντίστοιχων τάσεων που έχουν στις εξόδους τους. Για αυτό ονομάζεται διαφορικός.

Είναι μεταβλητός, διότι η μαγνητική σύζευξη ανάμεσα στο πρωτεύον και τα δύο δευτερεύοντα μπορεί να μεταβληθεί και έτσι να επηρεάσει το μέγεθος της επαγόμενης ΗΕΔ.

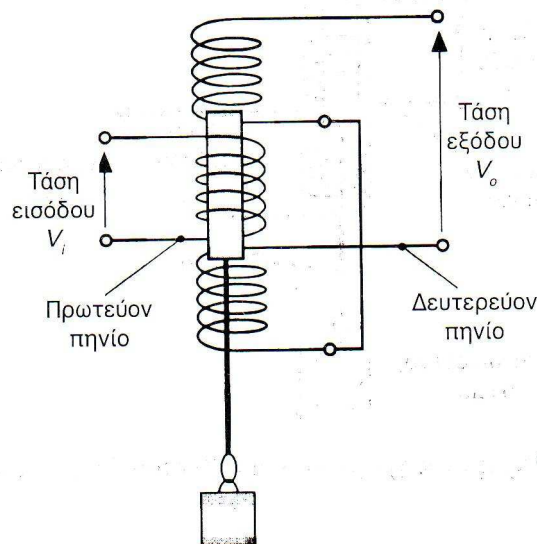
Τέλος λέγεται γραμμικός διότι η μεταβολή της σύζευξης του πρωτεύοντος με τα δευτερεύοντα πηνία γίνεται γραμμικά.

Θεωρούμε ότι ο πυρήνας μαλακού σιδήρου βρίσκεται στο κέντρο του συστήματος, εσωτερικά του πρωτεύοντος πηνίου. Όταν υπάρξει ενεργοποιηθεί από ένα εναλλασσόμενο σήμα, συνήθως 5 kHz, το ρεύμα που διέρχεται από το πρωτεύον πηνίο δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα μαλακού σιδήρου. Αυτή η μαγνητική ροή προκαλεί ίδια σύζευξη του πρωτεύοντος με καθένα από τα δύο δευτερεύοντα πηνία με αποτέλεσμα να εμφανίζεται στα άκρα αυτών ίδια ΗΕΔ.

Εάν τώρα τα δευτερεύοντα πηνία συνδεθούν όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα τα δύο παραγόμενα σήματα θα αλληλοαναιρεθούν.

Άρα, εάν κινηθεί ο πυρήνας μαλακού σιδήρου προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση η σύζευξη του πρωτεύοντος πηνίου με το ένα δευτερεύον θα αυξηθεί, ενώ με το άλλο πηνίο θα μειωθεί.

Όταν δεν υπάρχει μετατόπιση η συνολική τάση στα δευτερεύοντα είναι μηδέν.



Σχήμα 3,2 : Οι περιελίξεις ενός LVDT

Τελικά η σύζευξη με το ένα δευτερεύον πηνίο φτάνει στο μέγιστο ενώ με το άλλο φτάνει στο ελάχιστο, τότε εμφανίζεται το φαινόμενο του κόρου (saturation) και περιορίζεται το εύρος λειτουργίας του LVDT.

Όταν οι μετατοπίσεις είναι προς την μια κατεύθυνση τότε η μέτρηση του πλάτους τάσης στο δευτερεύον θα δώσει την ένδειξη της μετατόπισης. Όταν όμως οι μετατοπίσεις είναι συνεχής και προς τις δύο πλευρές τότε θα πρέπει να γίνει σύγκριση

μεταξύ της τάσης εξόδου των δευτερευόντων με την τάση του πρωτεύοντος. Όποια από τις τάσεις των δευτερευόντων είναι μεγαλύτερη, ελέγχει την φάση της συνδυασμένης εξόδου των δευτερευόντων. Για την σύγκριση της τάσης των δευτερευόντων με την τάση αναφοράς χρησιμοποιείται ένας ανιχνευτής ο οποίος θα παράγει ένα σήμα ανάλογο του πλάτους του σήματος στο δευτερεύον, με την πολικότητα να καθορίζεται από το εάν θα είναι σε φάση ή σε αντίθετη φάση ως προς την τάση αναφοράς.

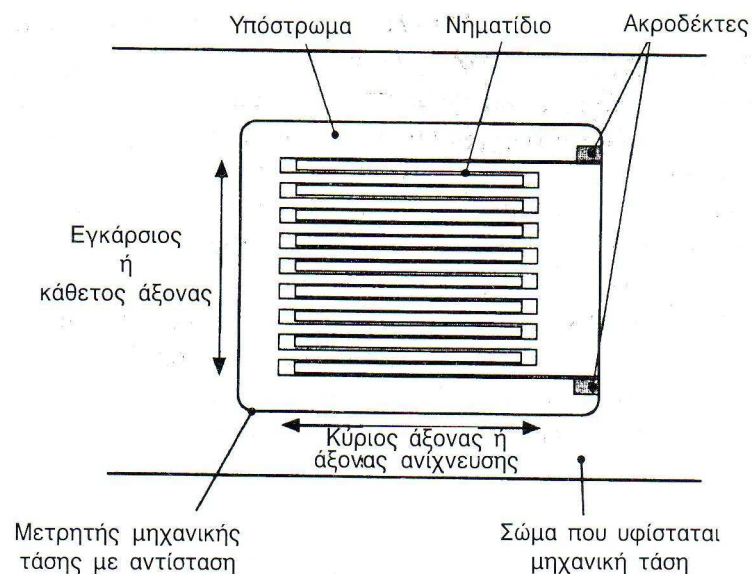
Τα LVDT είναι εξαιρετικά ευαίσθητα και έχουν διακριτική ικανότητα έως 0,05mm. Διαθέτουν εύρος λειτουργίας από  $\pm 0,1\text{mm}$  έως  $\pm 300\text{mm}$ . Η ακρίβεια είναι το  $\pm 0,5\%$  της ένδειξης της κλίμακας.

Από τα παραπάνω είναι επόμενο ότι τα LVDT έχουν πλατιά χρήση σε διάφορες εφαρμογές.

### Μετρητής μηχανικής τάσης με αντίσταση

Οι μετρητές μηχανικής τάσης μετρούν τις αλλαγές του μεγέθους ενός στερεού αντικείμενου που προκαλούνται με συμπίεση ή εφελκυσμό. Οι μετρητές αυτοί είναι στερεωμένοι στο αντικείμενο και έτσι, όταν αλλάζει το αντικείμενο αλλάζουν και αυτοί.

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες εμφανίζουν αλλαγή της αντίστασης τους όταν συμπιέζονται ή εφελκύνονται. Η αλλαγή αυτή σχετίζεται με μία μετατόπιση(παραμόρφωση) του αντικείμενου. Οι μετρητές μηχανικής τάσης μπορούν να μετρούν τάσεις σε αντικείμενα έως και 50mm.



Σχήμα : Απλός μετρητής μηχανικής τάσης με αντίσταση

Στο παραπάνω σχήμα εικονίζεται ένας απλός μετρητής μηχανικής τάσης με αντίσταση. Αποτελείται από ένα μεταλλικό φύλλο το οποίο είναι στερεωμένο σε ένα υπόστρωμα. Το φύλλο αυτό έχει χαραχθεί, έτσι ώστε να σχηματίζει μια συνεχή τεθλασμένη γραμμή με σχήμα ζιγκ – ζαγκ. Αυτή η γραμμή ονομάζεται νηματίδιο, τα νηματίδια των μετρητών είναι κατασκευασμένα από κράματα χαλκού – νικελίου ή

χρωμίου – νικελίου, διότι τα κράματα αυτά έχουν υψηλή ειδική αντίσταση και υψηλή μηχανική αντοχή. Τα υποστρώματα στα οποία είναι κολλημένα τα νηματίδια είναι κατασκευασμένα από ρητίνες διαφόρων τύπων, ανάλογα με την εφαρμογή και είναι πολύ λεπτά.

Οι μετρητές μηχανικής τάσης έχουν διάφορα μεγέθη, από μερικά κλάσματα του χιλιοστού έως περίπου πενήντα χιλιοστά.

Όταν ένας μετρητής συγκολλάται σε ένα αντικείμενο και το αντικείμενο (άρα και ο μετρητής) αλλάζει μέγεθος, θα αλλάξει η αντίσταση του νηματιδίου του μετρητή. Η αντίσταση δίνεται από την σχέση :

$$R = \rho l / A$$

- $\rho$  είναι η ειδική αντίσταση του υλικού του νηματιδίου, σε  $\Omega \cdot m$
- $l$  είναι το μήκος του νηματιδίου, σε m
- $A$  είναι το εμβαδόν διατομής του νηματιδίου, σε  $m^2$

Από την σχέση αυτή βλέπουμε ότι η αλλαγή είτε του εμβαδού διατομής, είτε του μήκους του νηματιδίου προκαλεί αλλαγή της αντίστασης R

Ένας γραμμικός μετρητής μηχανικής τάσης είναι ευαίσθητος σε αλλαγές μήκους κατά μήκος του κύριου άξονα (principal axis), και πρακτικά δεν λειτουργεί σε αλλαγές του μήκους κατά τον εγκάρσιο ή κάθετο άξονα (cross – axis). Επομένως είναι σημαντικός ο τρόπος και η κατεύθυνση σύνδεσης του μετρητή επάνω στο αντικείμενο προς μέτρηση.

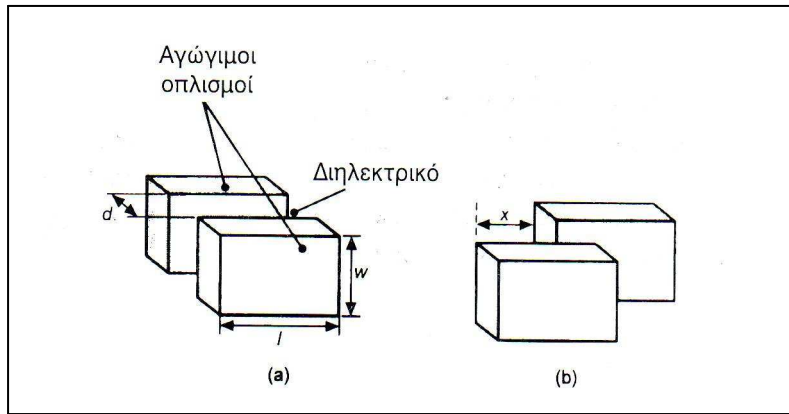
Η μηχανική τάση ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής των διαστάσεων προς τις αρχικές διαστάσεις :

$$\text{Μηχανική τάση} = \frac{\text{αλλαγή μήκους}}{\text{αρχικό μήκος}}$$

### **Πυκνωτές μεταβλητού εμβαδού**

Αυτή η μέθοδος μέτρησης χρησιμοποιεί την ιδιότητα της χωρητικότητας. (Χωρητικότητα ονομάζεται η ιδιότητα που επιτρέπει σε ένα σύστημα να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια. Ο πυκνωτής είναι ένα ηλεκτρικό στοιχείο που εμφανίζει χωρητικότητα). Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δύο οπλισμοί ενός πυκνωτή και το διηλεκτρικό υλικό που βρίσκεται ανάμεσα τους. Διηλεκτρικά είναι κάποια υλικά όπως το γυαλί, η κηροζίνη, τα οποία έχουν την ιδιότητα να ανθίστανται στην παρουσία ηλεκτρικού πεδίου.





Σχήμα 3,2 : Αλλαγή της επιφάνειας επικάλυψης των οπλισμών πυκνωτή.

Η χωρητικότητα μετρείται σε farad (f) και δίνεται από την παρακάτω σχέση :

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

- A είναι το εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή ( σε  $m^2$  )
- $\epsilon_0$  είναι η απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του ελεύθερου χώρου ( $8.854 \times 10^{-12} F m^{-1}$ )
- $\epsilon_r$  είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού υλικού
- d είναι η απόσταση των οπλισμών

Η σχετική διηλεκτρική σταθερά είναι το πηλίκo της πυκνότητας ηλεκτρικής ροής που υπάρχει μέσα σε ένα υλικό προς την πυκνότητα ηλεκτρικής ροής που υπάρχει στον ελεύθερο χώρο, για την ίδια ένταση ηλεκτρικού πεδίου.

Οι χωρητικοί μετατροπείς μετατόπισης δημιουργούν μια αλλαγή χωρητικότητας ανάλογη μιας μετατόπισης. Υπάρχουν τρεις τρόποι, με τους οποίους γίνεται αυτό, η χωρητικότητα μπορεί να αλλάξει εάν μεταβληθεί είτε η επιφάνεια επικάλυψης A, είτε η ηλεκτρική διαπερατότητα  $\epsilon_r$  του διηλεκτρικού, είτε η απόσταση d μεταξύ των οπλισμών.

Στο σχήμα 3,2(a) η επιφάνεια επικάλυψης ισούται με  $W \cdot l$ , ενώ στο σχήμα (b) η επιφάνεια αυτή έχει ελαττωθεί κατά  $W \cdot X$   $m^2$  και τώρα είναι  $A - (W \cdot X) m^2$ .

Επομένως εάν η χωρητικότητα στο (a) είναι :

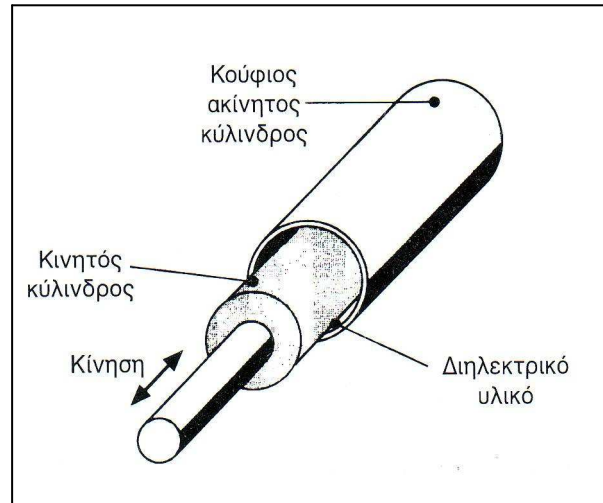
$$C = \frac{A \epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

Στο (b) θα είναι :

$$C = \frac{(A - wx) \epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

Αυτή η αλλαγή της χωρητικότητας είναι ανάλογη της επιφάνειας επικάλυψης των οπλισμών.

Ένα τέτοιο παράδειγμα χωρητικού μετατροπέα μετατόπισης μεταβλητής επιφάνειας εικονίζεται στο σχήμα 3,3.



Σχήμα 3,3 : Χωρητικός μετατροπέας μετατόπισης μεταβλητής επιφάνειας

Αυτός αποτελείται από έναν ακίνητο κύλινδρο, μέσα στον οποίο υπάρχει ένας κινητός κύλινδρος. Οι κύλινδροι αυτοί αποτελούν τους οπλισμούς του πυκνωτή. Το εσωτερικό του ακίνητου κυλίνδρου είναι επενδεδυμένο με διηλεκτρικό υλικό. Ο κινητός κύλινδρος βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο του οποίου την μετατόπιση θέλουμε να μετρήσουμε. Καθώς ο κινητός κύλινδρος κινείται μέσα – έξω ως προς τον ακίνητο κύλινδρο, αλλάζει το εμβαδόν της επιφάνειας επικάλυψης των δύο κυλίνδρων, άρα και η χωρητικότητα του συστήματος μεταβάλλεται ανάλογα.

Το σήμα εξόδου των πυκνωτών χρειάζεται σημαντική ρύθμιση. Επίσης χρειάζεται βοηθητικό κύκλωμα το οποίο να αποσβένει τις θερμοκρασιακές αλλαγές που επηρεάζουν την χωρητικότητα με αποτέλεσμα την δημιουργία σφάλματος.

Το ρυθμισμένο πλέον σήμα έχει την μορφή μιας τάσης που είναι ανάλογη της μετατόπισης και διαβιβάζεται σε ένα βαθμονομημένο βολτόμετρο.

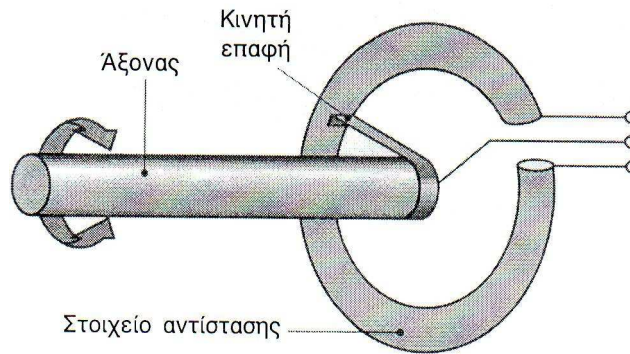
Οι χωρητικοί μετατροπείς μετατόπισης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι, έχουν άπειρη διακριτική ικανότητα αλλά είναι συνήθως ακριβοί και απαιτούν προσεκτική τοπική ρύθμιση. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές εφαρμογές, όπως η ανίχνευση της επιφανειακής μορφολογίας υλικών, η μέτρηση μηχανικής φθοράς και η καταγραφή της δημιουργίας ρωγμών σε ένα υλικό.

### 3.4 ΓΩΝΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ

#### Περιστροφικό ποτενσιόμετρο

Τα γωνιακά ή περιστροφικά ποτενσιόμετρα μετρούν την γωνιακή μετατόπιση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια απλή μορφή μιας τέτοιας συσκευής.

Τα περιστροφικά ποτενσιόμετρα λειτουργούν με την ίδια αρχή που έχουν τα γραμμικά. Η μόνη κύρια διαφορά είναι ότι το στοιχείο αντίστασης έχει την μορφή τόξου, επάνω στο οποίο ολισθαίνει η κινητή επαφή. Η κινητή επαφή περιστρέφεται διότι είναι συνδεδεμένη με τον άξονα εισόδου. Η τάση εξόδου είναι ανάλογη της γωνιακής μετατόπισης του άξονα και διαβιβάζεται σε ένα βαθμονομημένο βολτόμετρο σε μονάδες γωνιακής μετατόπισης.

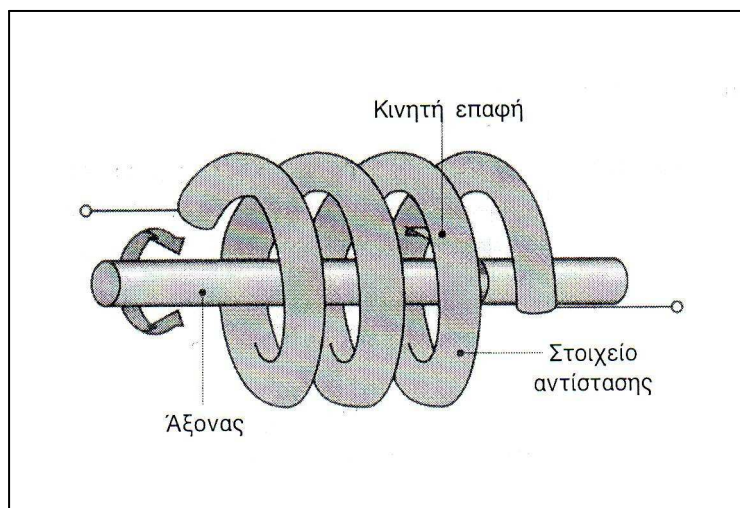


Σχήμα : Περιτροφικό ποτενσιόμετρο

Τα ποτενσιόμετρο στο παραπάνω σχήμα αποτελείται από ένα δακτύλιο που εμφανίζει αντίσταση, ο οποίος καταλαμβάνει μια πλήρη περιστροφή του άξονα. Για αυτό το λόγο και ονομάζεται ποτενσιόμετρο μίας στροφής(single-turn potentiometer) και δεν μπορεί να μετρήσει γωνιακές μετατοπίσεις μεγαλύτερες από μια πλήρη στροφή.

Για μέτρηση γωνιακών μετατοπίσεων πολλών στροφών χρησιμοποιείται το σπειροειδές ή ελικοειδές ποτενσιόμετρο(helical potentiometer).

Αυτό έχει στοιχείο αντίστασης σε μορφή σπείρας και ένα μηχανικό σύστημα που επιτρέπει την κινητή επαφή να παρακολουθεί την έλικα, καθώς περιστρέφεται ο άξονας εισόδου. Με τον τρόπο αυτό μετριοούνται γωνιακές μετατοπίσεις έως και 30 στροφές. Ένα τέτοιο ποτενσιόμετρο εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα : Σπειροειδές ποτενσιόμετρο

Τα περιστροφικά ποτενσιόμετρα πάσχουν από μηχανική φθορά, λόγω της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ της κινητής επαφής και το στοιχείο αντίστασης. Η ακρίβεια της εξόδου θα είναι περιορισμένη εάν το στοιχείο αντίστασης δεν είναι ακριβώς κυκλικού σχήματος, ή εάν η κινητή επαφή δεν βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του κυκλικού τόξου, καθώς και εάν οι περιελίξεις της σπείρας δεν είναι ομοιόμορφες.

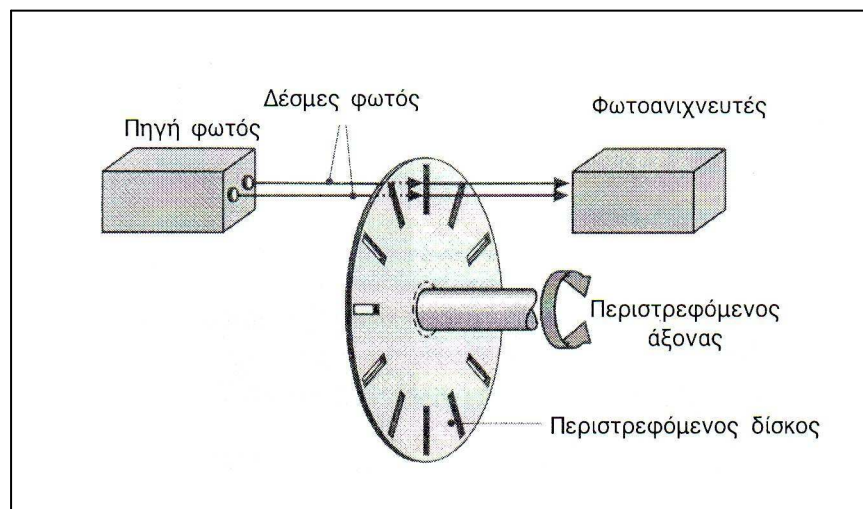
Παρόλα αυτά είναι σχετικά φθηνοί και χρησιμοποιούνται ευρέως. Το εύρος τους κυμαίνεται από λιγότερο από  $0,17$  ακτίνια( $10^\circ$ ) έως  $61$  ακτίνια( $3500^\circ$ ). Η γραμμικότητά τους είναι από  $0,01\%$  έως  $1,5\%$ .

### Αξονικός οπτικός κωδικοποιητής

Οι αξονικοί οπτικοί κωδικοποιητές (optical shaft encoders) παρέχουν πληροφορίες για την γωνιακή μετατόπιση σε ψηφιακή μορφή. Αυτό γίνεται διότι οι ψηφιακές έξοδοι είναι συμβατές με υπολογιστές και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα.

Υπάρχουν δύο κύρια είδη τέτοιων κωδικοποιητών, οι αυξητικοί κωδικοποιητές (incremental encoders) και οι απόλυτοι κωδικοποιητές (absolute encoders). Οι αυξητικοί παράγουν πολλά σήματα εξόδου και από το πλήθος τους εξάγεται η γωνιακή μετατόπιση του άξονα. Οι απόλυτοι κωδικοποιητές παράγουν ένα σήμα εξόδου, το οποίο δείχνει την συνολική γωνιακή μετατόπιση του άξονα, από μια αρχική θέση (θέση μηδέν).

Ένα τυπικό αυξητικό οπτικό κωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα 4.1. Αυτός αποτελείται από ένα δίσκο που είναι ακλόνητα συνδεδεμένος με τον άξονα του οποίου την γωνιακή μετατόπιση θέλουμε να μετρήσουμε. Ο δίσκος έχει στην περιφέρεια του αριθμό από ισαπέχουσες σχισμές μέσα από τις οποίες μπορεί και περνά μια φωτεινή ακτίνα. Το υπόλοιπο τμήμα του δίσκου είναι αδιαφανές. Μια πηγή φωτός, η οποία αποτελείται από δύο διόδους φωτοεκπομπής ευθυγραμμίζεται με το δίσκο.



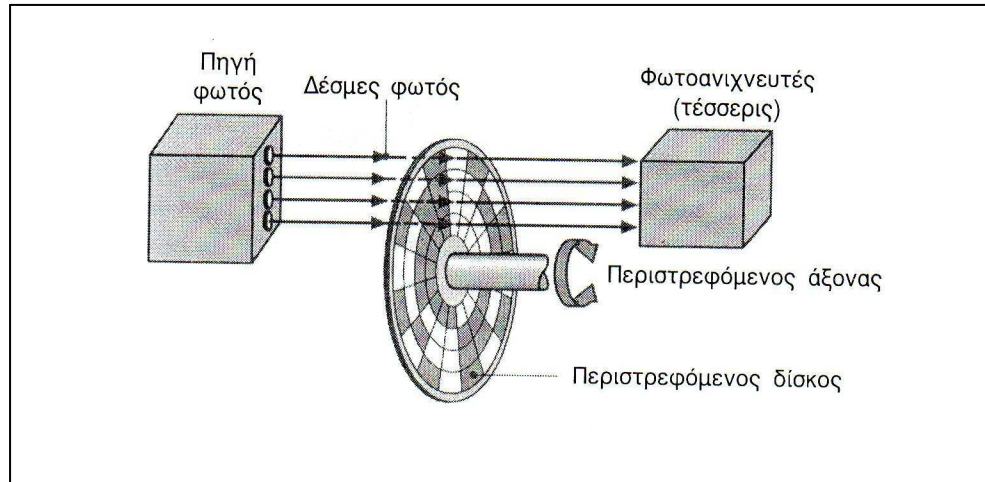
Σχήμα 4.1 : Αυξητικός οπτικός αξονικός κωδικοποιητής

Εάν το φως από αυτές τις διόδους περάσει μέσα από τις σχισμές χωρίς να διακοπεί, συλλέγεται από δύο φωτοανιχνευτές. Καθώς το φως περνά περιοδικά μέσα από τις σχισμές και διακόπτεται από τις ενδιάμεσες αδιαφανείς περιοχές, παράγεται μία παλμική δέσμη φωτός. Ο αριθμός των παλμών που ανιχνεύονται είναι ανάλογος της γωνίας κατά την οποία έχει μετατοπιστεί ο άξονας. Η γωνιακή μετατόπιση του άξονα μπορεί να προσδιοριστεί αναφορικά με ένα αυθαίρετα επιλεγμένο σημείο έναρξης.

Η διακριτική ικανότητα του δίσκου εξαρτάται από τον αριθμό των σχισμών που υπάρχουν σε αυτόν. Αυτό γίνεται διαιρώντας τα  $2\pi$  ακτίνια( $360^\circ$ ) που ισοδυναμούν με μία πλήρη περιστροφή, με τον αριθμό των σχισμών του δίσκου. Ο αριθμός αυτός

κυμαίνεται από 60 έως και πάνω από 1000. Έτσι φτάνουμε σε τιμές διακριτικής ικανότητας από 0,0034 ακτίνια( $0,2^\circ$ ) έως 0,102 ακτίνια( $6^\circ$ ).

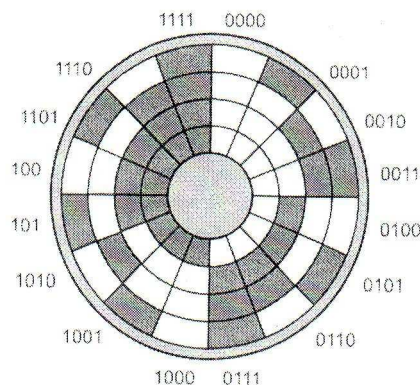
Ο απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής διαφέρει από τον αυξητικό, στο ότι το σήμα εξόδου που παράγει είναι σε ψηφιακή μορφή. Ένας τέτοιος παρουσιάζεται στο σχήμα 4,2.



Σχήμα 4,2 : Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής

Στον άξονα προσαρμόζεται ένας περιστρεφόμενος δίσκος με έναν αριθμό ομόκεντρων αυλακώσεων. Μια πηγή φωτός, που αποτελείται από μερικές διόδους LED ευθυγραμμίζεται με τις αυλακώσεις του δίσκου. Σε ίδιο αριθμό με τις διόδους LED ευθυγραμμίζονται φωτοανιχνευτές από την άλλη μεριά του δίσκου.

Ένα αδιαφανές σημείο του δίσκου που εμποδίζει τη διέλευση κάποιου LED προς τον αντίστοιχο ανιχνευτή, αντιπροσωπεύει το δυαδικό αριθμό "0", ενώ ένα ανοικτό σημείο – αυλάκωση το οποίο επιτρέπει το φως του LED να φθάσει στον αντίστοιχο ανιχνευτή αντιπροσωπεύει το δυαδικό αριθμό "1". Ο συνδυασμός αδιαφανών και ανοικτών σημείων μπορεί να αντιπροσωπεύσει όλους τους δεκαδικούς αριθμούς από το 0 έως  $2^a - 1$ , όπου  $a$ = αριθμός αυλακώσεων. Ένα παράδειγμα δίσκου ενός απόλυτου κωδικοποιητή εικονίζεται στο σχήμα 4,3. Αυτός έχει τέσσερις αυλακώσεις, επομένως ο κάθε δυαδικός αριθμός που μπορεί να σχηματιστεί περιέχει τέσσερα Bit.



Σχήμα 4,3 : Δίσκος δυαδικού, απόλυτου κωδικοποιητή

Ο αριθμός των θέσεων που μπορεί να ανιχνευθούν είναι  $16 (2^4)$  και έτσι η δυαδική ακολουθία εκτείνεται από τον αριθμό 0 έως τον αριθμό  $15(2^4-1)$ . Η διακριτική ικανότητα προσδιορίζεται εάν διαιρέσουμε μια πλήρη περιστροφή( $360^\circ$ ) με τον αριθμό των παραθύρων, που είναι 16, άρα είναι  $22,5^\circ$ .

Ένα μειονέκτημα του δυαδικού απόλυτου κωδικοποιητή είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις μια αύξηση της μετατόπισης θα προκαλέσει ταυτόχρονη αλλαγή κατάστασης σε περισσότερα από ένα παράθυρα. Για παράδειγμα, όταν από τον δυαδικό αριθμό 0011 οδηγούμαστε στον 0100,(στο δεκαδικό σύστημα από το 3 στο 4), αλλάζουν τρία παράθυρα, και όταν από τον 0111 οδηγούμαστε στον αριθμό 1000(στο δεκαδικό σύστημα από το 7 στο 8), αλλάζουν τέσσερα παράθυρα. Επομένως εάν ο απόλυτος κωδικοποιητής αναγνώσει λάθος κάποιο παράθυρο θα προκληθούν σημαντικά σφάλματα στον προσδιορισμό της θέσης. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα έχει επινοηθεί ο *κώδικας Gray*, ο οποίος είναι ένας ψηφιακός κώδικας, στον οποίο αλλάζει ένα bit κάθε φορά που η τιμή του αριθμού αυξάνει ή μειώνεται κατά ένα.

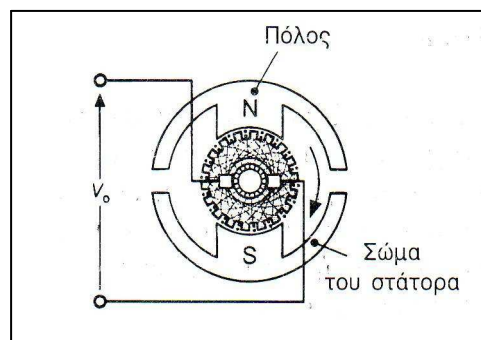
Οι οπτικοί κωδικοποιητές έχουν εφαρμογές σε μηχανές που ελέγχονται αριθμητικά, όπως τόννοι και φρέζες που ελέγχονται από υπολογιστή. Μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν στη ρομποτική. Μια συνηθισμένη εφαρμογή τους αποτελεί το ποντίκι(mouse) στους υπολογιστές.

### Ταχομετρική Γεννήτρια

Η ταχογεννήτρια (tachogenerator) είναι μία συσκευή η οποία, όταν οδηγείται από μία περιστροφική μηχανική δύναμη, παράγει μια ηλεκτρική έξοδο ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής.

Οι ταχογεννήτριες αναφέρονται ως συνεχούς(d.c) ή εναλλασσομένου(a.c) ρεύματος ανάλογα με την έξοδο που παράγουν. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφή μιας τέτοιας συσκευής συνεχούς ρεύματος.

Αποτελείται από μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, η οποία είναι κατασκευασμένη από ελαφριά υλικά όπως fiberglass έτσι ώστε να μην επηρεάζουν με το βάρος τους της ταχύτητα του συστήματος που εξετάζεται.

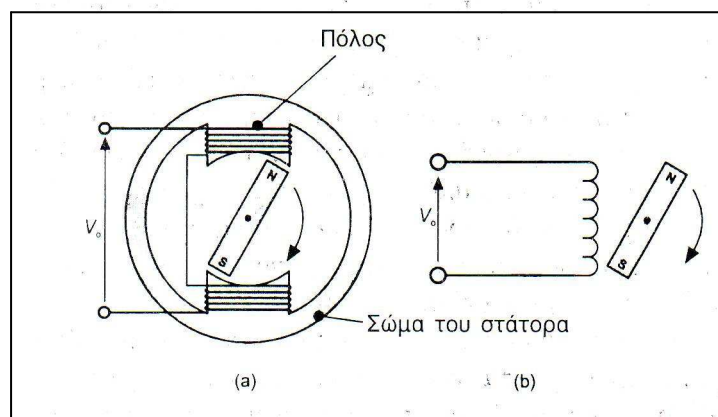


Σχήμα : Ταχομετρική γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Το σήμα εξόδου της συσκευής αυτής απαιτεί συνήθως επιπλέον κυκλώματα για την εξάλειψη του ηλεκτρικού θορύβου. Τότε το σήμα εξόδου μπορεί να εμφανιστεί σε μία οθόνη ενός κατάλληλα βαθμονομημένου σε μονάδες ταχύτητας βολτομέτρου.

Ένα χαρακτηριστικό των ταχομέτρων d.c είναι ότι η πολικότητα της εξόδου τους δείχνει την κατεύθυνση περιστροφής του άξονα. Το εύρος των μετρήσεων είναι από 0 έως 600 ακτίνια ανά δευτερόλεπτο (0 έως 6000 περιστροφές το λεπτό). Τα ταχύμετρα χρειάζονται συνεχής συντήρηση επειδή ορισμένα τμήματά τους, όπως οι ψήκτρες, υπόκεινται διαρκώς σε μηχανική φθορά, αλλά και επειδή η ισχύς των μαγνητών που έχουν μειώνεται με το χρόνο.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια ταχογεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος(a.c) Σχήμα (a)



Ο ρότορας αυτής συνδέεται με τον άξονα του οποίου την ταχύτητα περιστροφής θέλουμε να μετρήσουμε. Η έξοδος  $V_o$  είναι μια εναλλασσόμενη τάση, με πλάτος και συχνότητα ανάλογα της ταχύτητας περιστροφής. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα κυκλώματα επεξεργασίας σήματος, χρησιμοποιούμε είτε το πλάτος είτε την συχνότητα για να υπολογίσουμε την ταχύτητα περιστροφής.

Σε σύγκριση με τις ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος οι ταχογεννήτριες εναλλασσομένου μειονεκτούν στο ότι απαιτούν περισσότερη ρύθμιση σήματος και επιπρόσθετα δεν μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση περιστροφής από το σήμα εξόδου, αφού αυτό είναι εναλλασσόμενο. Εντούτοις οι εναλλασσομένου ρεύματος είναι πιο φθηνές, πιο απλές και αξιόπιστες.

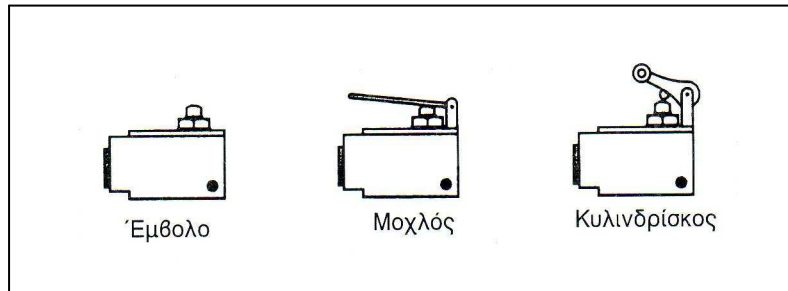
Και τα δύο είδη χρησιμοποιούνται ευρέως στα αυτόματα συστήματα παραγωγής, σε εργαλεία παραγωγής και για τον έλεγχο μεγάλων ηλεκτρογεννητριών.

### 3.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Οι ανιχνευτές προσέγγισης χρησιμοποιούνται ευρέως στις διαδικασίες κατασκευής. Επίσης χρησιμοποιούνται για την απαρίθμηση προϊόντων, για παράδειγμα των αντικειμένων που βρίσκονται επάνω σε μία κυλιόμενη ταινία μεταφοράς, τα οποία πρέπει στη συνέχεια να συσκευαστούν σε κουτιά καθορισμένου μεγέθους.

## Μικροδιακόπτες

Οι μικροδιακόπτες (micro switches) λειτουργούν με μία πολύ μικρή κίνηση κάποιου εμβόλου και έτσι είναι ευαίσθητοι και ιδιαίτερα χρήσιμοι ως αισθητήρες άμεσης επαφής. Οι μικροδιακόπτες διατίθενται με διάφορα εξαρτήματα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα : Διάφορες μορφές εξαρτημάτων μικροδιακοπτών

Στις τυπικές εφαρμογές των μικροδιακοπτών περιλαμβάνονται τα καλύμματα ασφαλείας, τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία ενός μηχανήματος ή θέτουν σε λειτουργία κάποιο συναγερμό, εάν ανοιχθεί κάποιο κάλυμμα ή καπάκι. Το εξάρτημα που ενεργοποιεί το μικροδιακόπτη μπορεί να έχει την μορφή εμβόλου με ένα κυλινδρίσκο, ο οποίος ακολουθεί τη γραμμή ενός έκκεντρου. Με τον τρόπο αυτό οι μικροδιακόπτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με διάφορα έκκεντρα, ώστε να παρακολουθούν τα διαδοχικά στάδια μιας κατασκευαστικής διαδικασίας. Επίσης χρησιμοποιούνται στον ποιοτικό έλεγχο, για παράδειγμα για την αποδοχή ή απόρριψη των παραγόμενων αντικειμένων, με βάση την ικανότητα τους (λόγω βάρους, διαστάσεων κ.ά) να ενεργοποιούν ένα μικροδιακόπτη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι τεχνικές προδιαγραφές δύο ειδών βιομηχανικών μικροδιακοπτών με μεταλλικό περίβλημα.

Βιομηχανικοί μικροδιακόπτες μεταλλικού περιβλήματος, μη-σφραγισμένοι		
Προδιαγραφές επαφής		
480 V a.c. 15 A, 125 V d.c. 0.5 A, 15 V d.c. 15 A.		
Μηχανική ζωή		
>10 <sup>5</sup> κύκλοι λειτουργίας		
Θερμοκρασιακό εύρος		
0–70 °C		
Όρια λειτουργίας	Μορφής εμβόλου	Μορφής κυλινδρίσκου
Αρχική διαδρομή, μέγιστη	0.5 mm	0.8 mm
Διαφορικό, μέγιστο	0.08 mm	0.08 mm
Υπερ-απόκλιση, μέγιστη	4.6 mm	3.6 mm
Δύναμη λειτουργίας, μέγιστη	4.2 N	4.2 N
Δύναμη απασφάλισης, ελάχιστη	1.7 N	1.7 N

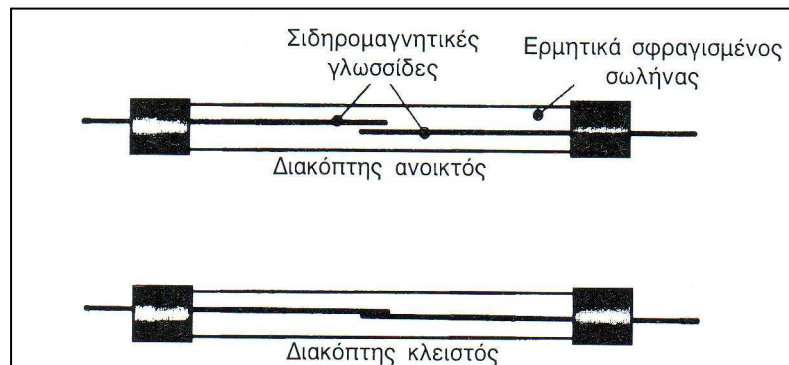
Σχήμα : Προδιαγραφές βιομηχανικών μικροδιακοπτών



Οι απαιτήσεις τροφοδοσίας σε τάση και ρεύμα μεταξύ των διακοπών d.c από τους a.c είναι πολύ μικρότερες, αυτόν γίνεται για να αποτραπεί η εμφάνιση σπινθήρα στην περίπτωση σύζευξης με συνεχές ρεύμα.

### Αισθητήρες διακόπτη με γλωσσίδα

Οι διακόπτες με γλωσσίδα αποτελούνται από δύο μικρές σιδηρομαγνητικές γλωσσίδες που είναι ερμητικά κλεισμένες μέσα σε ένα γυάλινο σωλήνα. Οι γλωσσίδες είναι λεπτές και ευλύγιστες και επειδή είναι σιδηρομαγνητικές μπορούν να μαγνητιστούν εάν υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Οι γλωσσίδες μπορούν να έχουν συνήθως ανοιχτές ή επαφές εναλλαγής, ανάλογα με την εφαρμογή.



Σχήμα : Αισθητήρας διακόπτη με γλωσσίδα

Εάν ο διακόπτης με γλωσσίδα είναι ανοικτού τύπου, τότε όταν ένας μαγνήτης περάσει από την περιοχή του διακόπτη, τα άκρα των δύο γλωσσίδων έλκονται, έρχονται σε επαφή και κλείνει κάποιο κύκλωμα. Όταν ο μαγνήτης απομακρυνθεί οι γλωσσίδες απομακρύνονται και ο διακόπτης ανοίγει. Εάν ο διακόπτης είναι εναλλαγής (changeover), τότε υπάρχει μία εύκαμπτη γλωσσίδα μεταξύ των δύο επαφών. Όταν ένας μαγνήτης περάσει από την περιοχή του διακόπτη, η γλωσσίδα μετακινείται από την επαφή όπου το κύκλωμα είναι ανοιχτό (ανοιχτή επαφή) στην κλειστή επαφή και επανέρχεται στην ανοιχτή επαφή όταν ο μαγνήτης φύγει μακρύτερα.

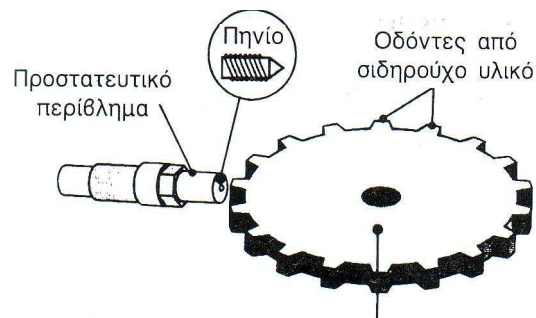
Η γωνιακή περιστροφή ενός άξονα μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας ένα διακόπτη με γλωσσίδα ενσωματώνοντας ένα μόνιμο μαγνήτη στον άξονα. Ο διακόπτης στερεώνεται κοντά στον άξονα και έτσι καθώς περιστρέφεται ο άξονας ο μαγνήτης περιοδικά πλησιάζει τον διακόπτη. Καθώς περνά ο μαγνήτης, ο διακόπτης κλείνει ή ανοίγει κάποιο κύκλωμα και παράγει μία έξοδο με μορφή παλμών. Αυτοί οι παλμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για να προσδιοριστεί η γωνιακή μετατόπιση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση με την βοήθεια κατάλληλης ρύθμισης του σήματος.

Οι διακόπτες με γλωσσίδα είναι σχετικά φθηνοί και μία τυπική εφαρμογή τους είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας στα ποδήλατα. Ένας μικρός μαγνήτης τοποθετείται σε μία από τις ακτίνες του τροχού του ποδηλάτου και ο διακόπτης στερεώνεται στο σκελετό του ποδηλάτου. Καθώς ο μαγνήτης περνά κοντά από τον διακόπτη δημιουργείται ένας παλμός εξόδου. Επειδή είναι γνωστή η περίμετρος του τροχού, ένας μικρός υπολογιστής με οθόνη υγρών κρυστάλλων παρουσιάζει την έξοδο στον αναβάτη σε μονάδες ταχύτητας.

Άλλες εφαρμογές τέτοιων διακοπών είναι τα συστήματα συναγερμού, όπου οι διακόπτες τοποθετούνται στις πόρτες και τα παράθυρα των σπιτιών.

## Αισθητήρας προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

Οι αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (variable reluctance proximity sensors) είναι μικρές μαγνητικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γωνιακής απόκλισης. Ο αισθητήρας αποτελείται από ένα μικρό ηλεκτρομαγνητικό πηνίο που τοποθετείται σε προστατευτικό περίβλημα και στερεώνεται κοντά στον περιστρεφόμενο άξονα. Μπορεί να ανιχνεύσει την ύπαρξη ενός σιδηρούχου μετάλλου, για παράδειγμα έναν οδόντα γραναζιού κατασκευασμένο από σίδηρο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος αισθητήρας, ο οποίος ανιχνεύει την άμεση προσέγγιση ενός οδόντα του γραναζιού.



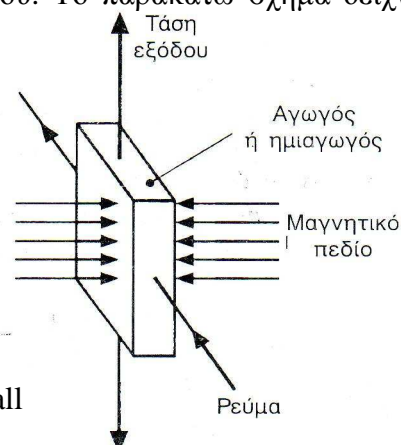
Σχήμα : Αισθητήρας προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

Όταν ο οδόντας περνά κοντά από τον αισθητήρα, τότε παράγεται τάση εξόδου, η οποία προκαλείται από την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή του πηνίου. Η έξοδος είναι ένας παλμός που μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη ενός βολτομέτρου ή αμπερομέτρου. Η γωνιακή περιστροφή του άξονα μπορεί με αυτόν τον τρόπο να μετρηθεί, εάν ενσωματωθεί στον άξονα κάποιο σιδηρούχο υλικό και απαριθμηθεί πόσες φορές παράγεται τάση εξόδου.

Οι τυπικοί αισθητήρες τέτοιου τύπου ανιχνεύουν σιδηρομαγνητικά υλικά σε αποστάσεις έως και 2.5mm. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, όπως είναι η ανίχνευση της γωνίας ενός άξονα και ο χρόνος ανάφλεξης σε κινητήρες, σε σκληρούς δίσκους υπολογιστών και την ανίχνευση της ταχύτητας κινητήρων.

## Ανιχνευτές προσέγγισης φαινομένου Hall

Οι ανιχνευτές τέτοιου είδους λειτουργούν μέσω μαγνητικής αλληλεπίδρασης. Μπορούν να ανιχνεύσουν εξαιρετικά ασθενή μαγνητικά πεδία και μικρές αλλαγές της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη βασική αρχή του φαινομένου Hall.



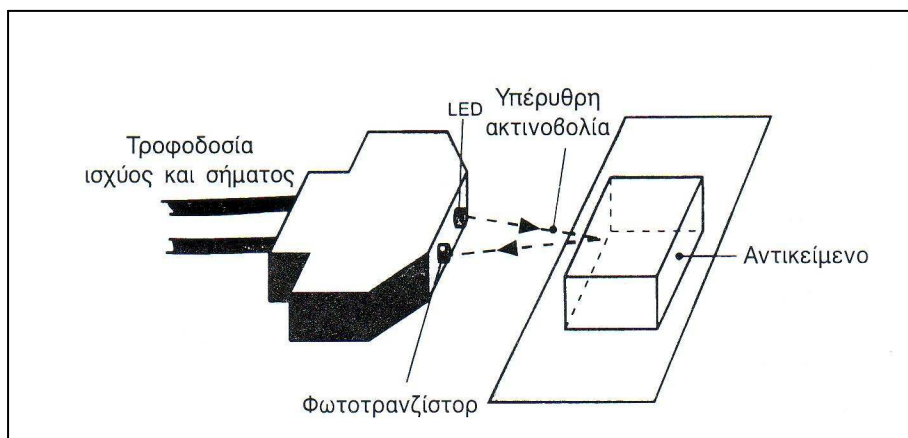
Σχήμα : Τα φαινόμενο Hall

Το φαινόμενο Hall είναι η δημιουργία μίας εγκάρσιας τάσης στα άκρα ενός αγωγού, όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το φαινόμενο Hall τείνουν να χρησιμοποιούν ημιαγωγούς, επειδή εκεί το φαινόμενο είναι πιο ισχυρό. Οι ανιχνευτές αυτοί αποτελούνται από ένα μικρό ολοκληρωμένο κύκλωμα, ενσωματωμένο σε μία βελόνα δοκιμής, η οποία μπορεί με ακρίβεια να ανιχνεύει την κίνηση στόχων από σιδηρούχα μέταλλα. Οι ανιχνευτές φαινομένου Hall χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο, όπως οι ανιχνευτές προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης, για παράδειγμα για την καταγραφή της προσέγγισης δοντιών γραναζιών από σιδηρούχο υλικό. Τείνουν να είναι πιο ακριβοί και είναι κατάλληλοι για εφαρμογές χαμηλής ταχύτητας.

## Οπτικοί αισθητήρες

Οι οπτικοί αισθητήρες (optical sensors) αποτελούνται από μία πηγή φωτός και έναν ανιχνευτή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η βασική αρχή του αισθητήρα ανακλώμενης οπτικής δέσμης (reflective optical beam sensor) στον οποίο η πηγή φωτός και ο ανιχνευτής στερεώνονται δίπλα –δίπλα. Μια άλλη οπτική μέθοδος είναι αυτή της διαπερατότητας (transmissive or through-scan sensor) στην οποία η πηγή φωτός και ο ανιχνευτής βρίσκονται απέναντι ο ένας από τον άλλο.



Σχήμα : Αισθητήρας ανακλώμενης οπτικής δέσμης

Οι πηγές φωτός είναι συχνά δίοδοι φωτοεκπομπής (LED) και οι ανιχνευτές είναι φωτοτρανζίστορ πυριτίου. Χρησιμοποιείται συνήθως οπτικό υπέρυθρο φως. Η πηγή εκπέμπει υπέρυθρο φως, το οποίο ανακλάται από κάθε αντικείμενο που πλησιάζει τον αισθητήρα. Το ανακλώμενο φως ανιχνεύεται από το φωτοτρανζίστορ.

Στους αισθητήρες διαπερατότητας η φωτεινή δέσμη διακόπτεται και έτσι δεν προσπίπτει φως στον ανιχνευτή, οπότε διαπιστώνεται η ύπαρξη αντικειμένου. Στη μέθοδο ανάκλασης η ύπαρξη και η ισχύς της ανακλώμενης δέσμης μεταφέρει πληροφορία για την απόσταση του αντικειμένου. Για να αποφεύγονται τα σφάλματα, το αντικείμενο πρέπει να έχει μία ειδική ανακλαστική επίστρωση. Η ελάχιστη απόσταση προσέγγισης, στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο αισθητήρας, εξαρτάται από την ισχύ της δέσμης, την ευαισθησία του φωτοτρανζίστορ και την φύση του αντικειμένου που ανακλά. Η μέθοδος ανάκλασης κυμαίνεται από λιγότερο από 1mm έως και πάνω από 7mm. Ο ανιχνευτής φωτός έχει συχνά την δική του τροφοδοσία και τότε παράγει μία κατάλληλη τάση εξόδου, ενώ στα σύγχρονα μοντέλα παρέχει μία

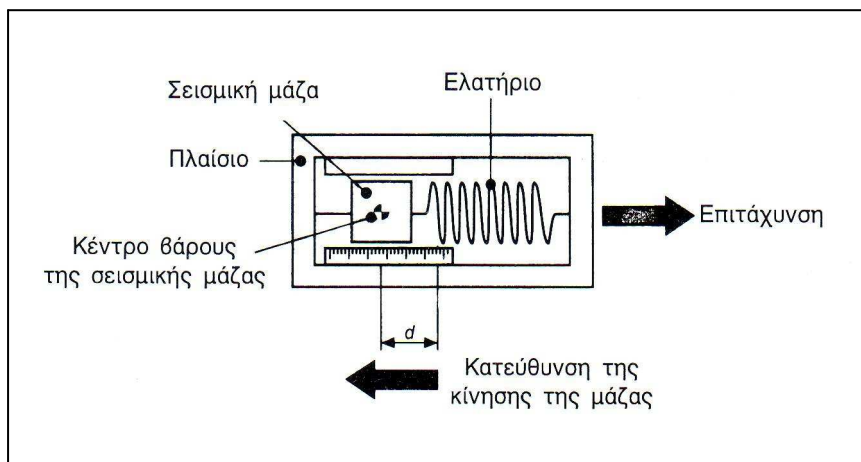
ένδειξη της απόστασης. Παραδείγματα εφαρμογής συσκευών οπτικής ανίχνευσης είναι στα συστήματα συναγερμού και στον έλεγχο ποιότητας, ειδικά στις περιπτώσεις μαζικής παραγωγής αντικειμένων.

### 3.6 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

Τα επιταχυνσιόμετρα (accelerometers) χρησιμοποιούνται σε δύο είδη μετρήσεων. Κατά πρώτο λόγο μετρούν κρούσεις και δονήσεις. Οι κρούσεις αποτελούν στην ουσία μεγάλες επιταχύνσεις που διαρκούν μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ οι δονήσεις είναι μικρές επιταχύνσεις, περιοδικά επαναλαμβανόμενες. Κατά δεύτερο λόγο, τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των επιταχύνσεων των σωμάτων, όπως είναι τα αεροπλάνα και πλοία, παρέχοντας πληροφορίες για τη θέση, την ταχύτητα και την απόσταση που έχει καλυφθεί.

#### Επιταχυνσιόμετρα σεισμικής μάζας

Ένα επιταχυνσιόμετρο σεισμικής μάζας (seismic mass accelerometer) μετρά τη γραμμική μετατόπιση μίας μάζας από μία θέση αναφοράς, και έτσι υπολογίζει την επιτάχυνση. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται μια τέτοια συσκευή.



Σχήμα : Επιταχυνσιόμετρο σεισμικής μάζας

Η έκφραση "σεισμική μάζα" αναφέρεται στη μάζα που χρησιμοποιείται ως μάζα αναφοράς. Αυτή η μάζα  $m$ , είναι συνδεδεμένη με ένα ελατήριο γνωστής σταθεράς  $K$ . Το ελατήριο είναι συνδεδεμένο στο πλαίσιο που περιβάλλει τη διάταξη. Όταν το πλαίσιο επιταχυνθεί, η μάζα μετατοπίζεται κατά απόσταση  $d$ , ως προς το πλαίσιο, κατά την αντίθετη όμως κατεύθυνση. Μετρώντας την τιμή  $d$  μπορούμε να προσδιορίσουμε την επιτάχυνση σύμφωνα με τον τύπο που ακολουθεί.

$$a = \frac{d K}{m}$$

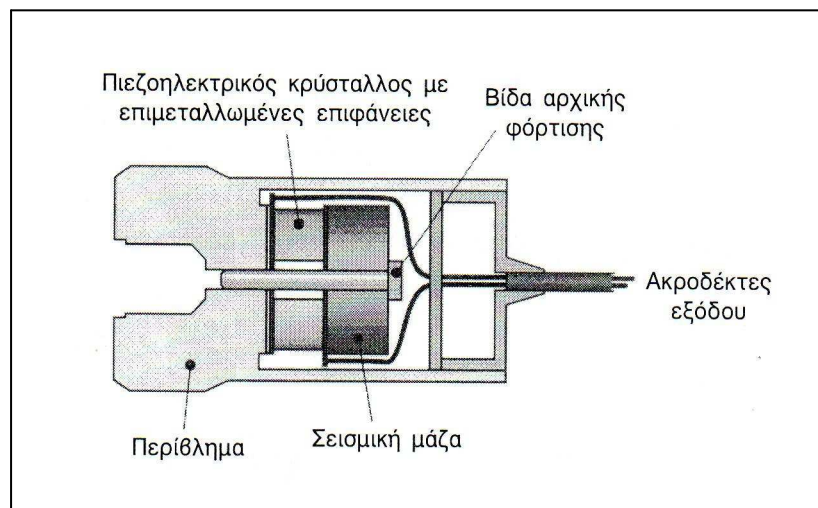
- $a$  είναι η επιτάχυνση, σε  $m s^{-2}$
- $d$  είναι η μετατόπιση της μάζας ως προς το πλαίσιο, σε  $m$

- $K$  είναι η σταθερά του ελατηρίου, σε  $N.m^{-1}$
- $m$  είναι το μέγεθος της μάζας σε  $kg$

Τα επιταχυνσιόμετρα αυτά χρησιμοποιούνται για να μετρούν κρούσεις και δονήσεις πολύ μικρής συχνότητας, όπως αυτές που σχετίζονται με τους σεισμούς και τις κινήσεις του γήινου φλοιού ή για να μετρούν την επίδραση υπόγειων εκρήξεων.

### Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο

Ένα πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο (piezoelectric accelerometer) εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα : Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο

Αυτό αποτελείται μία μάζα που είναι συνδεδεμένη με έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και όλα μαζί είναι μέσα σε ένα περίβλημα. Η μάζα στερεώνεται με μία βίδα απέναντι στον κρύσταλλο. Τότε εμφανίζεται φορτίο και πολώνονται οι εξωτερικές επιμεταλλωμένες επιφάνειες του. Οι επιφάνειες αυτές βρίσκονται σε επαφή με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το κύκλωμα είναι γνωστό ως ενισχυτής φορτίου και παράγει μία τάση εξόδου από το φορτίο που αναπτύσσεται στον κρύσταλλο. Η τάση αυτή είναι ανάλογη της επιτάχυνσης του μετατροπέα και μπορεί να εμφανιστεί στην οθόνη ενός κατάλληλα βαθμονομημένου βολτομέτρου.

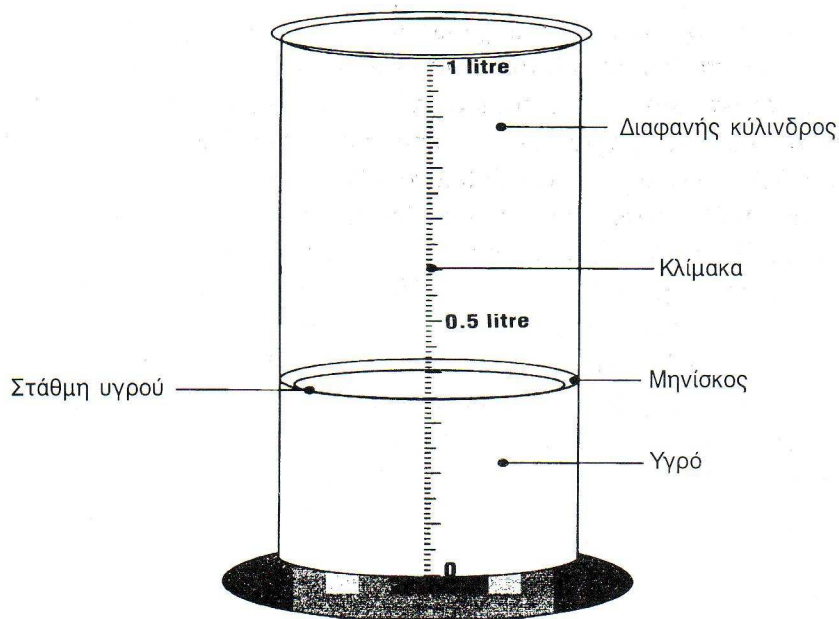
Χρησιμοποιούνται κρύσταλλοι όπως ο χαλαζίας και το τρυγικό νάτριο ή κάλιο επειδή έχουν υψηλή μηχανική αντοχή. Τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα εμφανίζουν καλή απόκριση σε υψηλές συχνότητες, αλλά πτωχή απόκριση σε χαμηλές συχνότητες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ, ΥΨΟΥΣ, ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΟΓΚΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε διάφορα είδη αισθητήρων που υπάρχουν για την μέτρηση της ποσότητας ενός υλικού. Η έννοια της ποσότητας εκφράζεται με την βοήθεια της στάθμης, του ύψους, του όγκου, του βάρους και της δύναμης, οι οποίες είναι διαφορετικές φυσικές παράμετροι αλλά σχετίζονται η μία με την άλλη.

Για να κατανοηθεί η σχέση ανάμεσα στη στάθμη, το ύψος, τον όγκο, το βάρος και την δύναμη θεωρούμε το δοχείο που εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ογκομετρικός κύλινδρος

Αυτό το δοχείο είναι κατασκευασμένο από διάφανο υλικό, όπως γυαλί πλαστικό και είναι σχεδιασμένο να χωρά ένα λίτρο νερού. Επειδή το δοχείο έχει ομοιόμορφη διατομή, η κλίμακα μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο από ισαπέχουσες γραμμές στην πλευρά του δοχείου, οι οποίες αντιστοιχούν σε ποσότητες υγρού. Αυτό το είδος κλίμακας ονομάζεται γραμμική.

Μια γραμμική κλίμακα είναι χρήσιμη όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε το ύψος μίας στάθμης που βρίσκεται μεταξύ δύο διαδοχικών γραμμών. Στην πράξη, όταν είναι γνωστές οι διαστάσεις του δοχείου, τότε οι θέσεις των ενδείξεων βαθμονόμησης μπορούν να υπολογιστούν εύκολα. Μερικές φορές είναι εύκολο να βαθμονομήσουμε ένα δοχείο προσθέτοντας σε αυτό κάποια γνωστή ποσότητα υγρού και σημειώνοντας μία γραμμή στο ύψος όπου ανεβαίνει η στάθμη κάθε φορά.

Ο ογκομετρικός κύλινδρος αποτελεί ένα παράδειγμα μεθόδου για την μέτρηση της ποσότητας ενός υγρού. Η ίδια αρχή εφαρμόζεται σε πολλές μορφές δοχείων ή δεξαμενών που έχουν ειδικές χρήσεις και ποίκιλα σχέδια. Εάν, εντούτοις, το εμβαδόν

διατομής του δοχείου μεταβάλλεται με το ύψος της στάθμης, τότε η κλίμακα θα είναι μη γραμμική.

Καθώς αυξάνει η ποσότητα του υγρού σε ένα δοχείο, αυξάνει η μάζα του και επομένως η βαρυτική δύναμη, με την οποία το έλκει η Γη.

Εάν το ίδιο δοχείο πληρωθεί με ένα λίτρο νερού, τότε θα αυξηθεί η μάζα του κατά 1 χιλιόγραμμα (kg) και το βάρος του κατά 9,81 Newton (N). Εάν η κλίμακα είναι βαθμονομημένη σε μονάδες μάζας, τότε, εάν χρησιμοποιούμε διαφορετικά υγρά, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε διαφορετικές κλίμακα ή να βαθμονομήσουμε εκ νέου την υπάρχουσα κλίμακα. Εάν, για παράδειγμα, γεμίζαμε το δοχείο με ένα λίτρο υδράργυρο (Hg), τότε το βάρος του θα αυξάνει κατά 13,6 kg, επειδή ο υδράργυρος είναι 13,6 φορές βαρύτερος από το νερό.

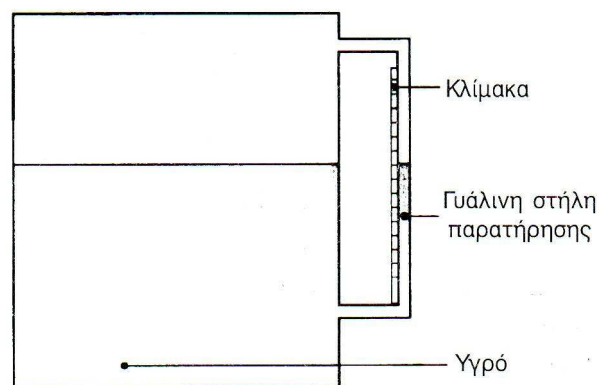
Επιπρόσθετα, η πυκνότητα κάθε υγρού αλλάζει με την θερμοκρασία, και συνήθως μειώνεται, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διαστολή του υγρού. Στα περισσότερα ογκομετρικά δοχεία αναγράφεται η θερμοκρασία, στη οποία πρέπει να βρίσκεται το προς μέτρηση υγρό, ώστε η κλίμακα που υπάρχει να δίνει ακριβείς μετρήσεις.

Οι φυσικές παράμετροι της στάθμης και του ύψους, μπορούν να συσχετιστούν με την μάζα και έτσι να μας οδηγήσουν στις ποσότητες της δύναμης και του βάρους. Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι όλες αυτές οι φυσικές ποσότητες επηρεάζονται άμεσα από την ποσότητα του υλικού, στερεού, υγρού ή αερίου που περιέχεται σε ένα δοχείο. Παρακάτω θα εξετάσουμε τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους αισθητήρες για την μέτρηση αυτών των παραμέτρων.

## 4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ

### Δοχείο παρατήρησης

Το δοχείο παρατήρησης (sight glass), είναι μία απλή και ανέξοδη μέθοδος για την μέτρηση της στάθμης του υγρού σε ένα δοχείο. Έχει παρόμοια αρχή με τον ογκομετρικό κύλινδρο αλλά επιτρέπει τη χρήση αδιαφανών υλικών για την κατασκευή του δοχείου και επομένως την δημιουργία ανθεκτικότερων και φθηνότερων κατασκευών.

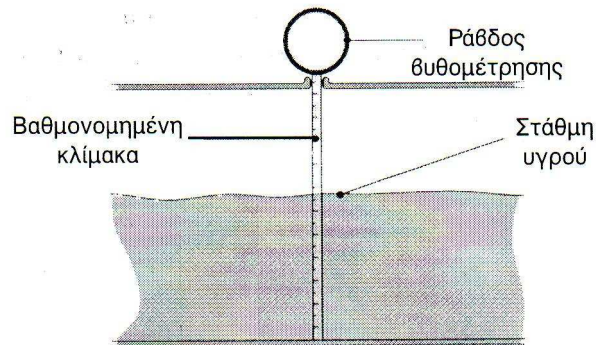


Σχήμα : Δοχείο παρατήρησης

Η ακρίβεια του αποτελέσματος εξαρτάται από την ικανότητα του αναγνώστη. Το είδος του υγρού στο δοχείο και η διάμετρος της στήλης παρατήρησης επηρεάζουν επίσης την ακρίβεια της μεθόδου. Επομένως τα δοχεία παρατήρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου δεν είναι απαραίτητη η υψηλή ακρίβεια, όπως είναι η αποθήκευση πετρελαίου σε δεξαμενές.

### **Ράβδος βυθομέτρησης**

Η ράβδος βυθομέτρησης (dipstick) αποτελείται από μία λεπτή ράβδο που έχει χαραγμένη επάνω της μία κλίμακα, και βυθίζεται κάθετα μέσα στη δεξαμενή, μέσα στο υγρό, μέχρις ότου συναντήσει την βάση της. Στη συνέχεια αποσύρεται η ράβδος από την δεξαμενή και τότε επικάθεται ένα λεπτό στρώμα από το υγρό επάνω της, οπότε ελέγχοντας μέχρι που έχει φθάσει το υγρό, προσδιορίζουμε το ύψος της στάθμης με την βοήθεια της κλίμακας.



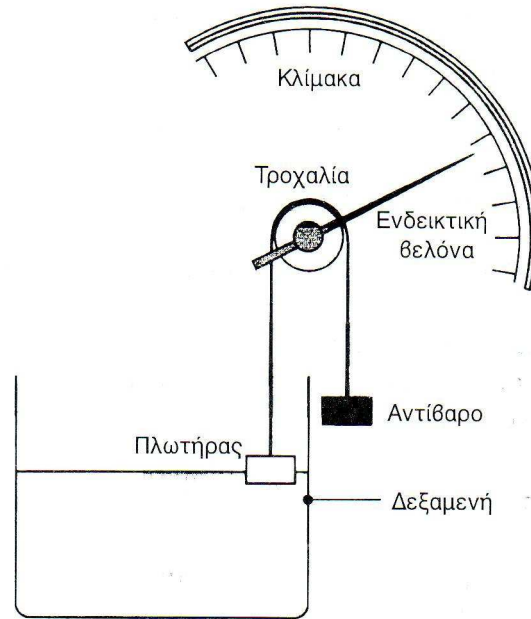
Σχήμα : Ράβδος βυθομέτρησης

Η ράβδος βυθομέτρησης χρησιμοποιείται μόνο για τοπικές μετρήσεις, καθώς θα πρέπει κάποιος να αποσύρει τη ράβδο και να διαβάσει την ένδειξη που σημειώνεται στην κλίμακα π.χ. η ράβδος που υπάρχει στις μηχανές των αυτοκινήτων για τον έλεγχο της στάθμης λαδιού.

### **Μετρητής με πλωτήρα και αντίβαρο**

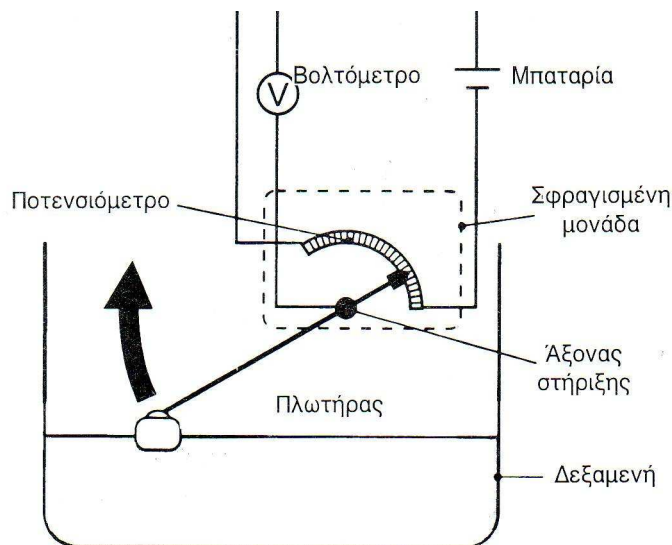
Ένα τυπικός μετρητής με πλωτήρα και αντίβαρο εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Εδώ η κίνηση του πλωτήρα ακολουθεί τη μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού και επομένως κινεί την ενδεικτική βελόνα. Η κλίμακα μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες όγκου ή μάζας. Μπορούν να ληφθούν ακριβείς ενδείξεις, αλλά αυτό εξαρτάται από το μήκος της κλίμακας και το πλήθος των γραμμών που υπάρχουν σε αυτή.





Σχήμα : Μετρητής με πλωτήρα και αντίβαρο

### Ηλεκτρικός μετρητής με πλωτήρα



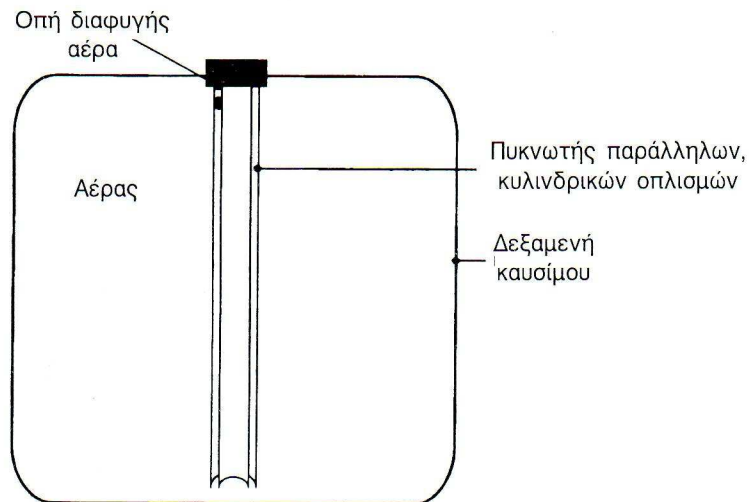
Σχήμα : Ηλεκτρικός μετρητής με πλωτήρα

Ένας τυπικός ηλεκτρικός μετρητής φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Ο πλωτήρας είναι έτσι σχεδιασμένος, ώστε να ακολουθεί τη μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού. Όταν αυτή αλλάζει, η κίνηση του πλωτήρα προκαλεί μία γωνιακή μετατόπιση της κινητής επαφής, που συνδέεται στο κέντρο του ποτενσιόμετρου. Αυτό αλλάζει τη διαφορά δυναμικού και δημιουργεί μία ένδειξη τάσης που είναι ανάλογη της στάθμης του υγρού. Η κλίμακα του βολτομέτρου μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες όγκου, μάζας, ή ύψους.

## Βελόνες χωρητικότητας

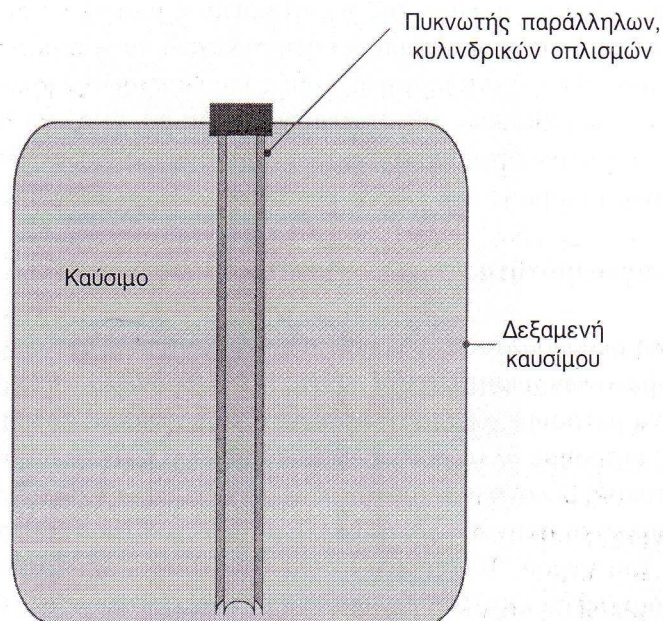
Η χρήση των βελονών χωρητικότητας (capacitance probes), ή μετρητές χωρητικότητας (capacitance gauges), είναι εκ φύσεως ασφαλής και έτσι χρησιμοποιούνται να την μέτρηση της στάθμης των καυσίμων στα αεροπλάνα.

Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από δύο κυλινδρικούς σωλήνες που βρίσκονται ο ένας μέσα στον άλλο και σχηματίζουν έναν πυκνωτή στο εσωτερικό της δεξαμενής καυσίμου όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



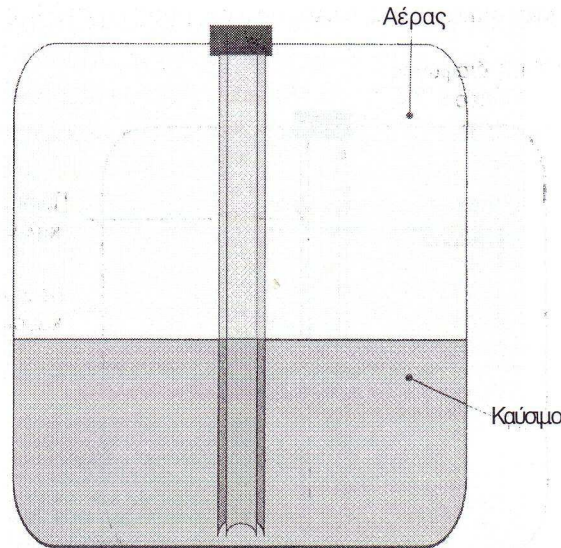
Σχήμα : Πυκνωτής σε μία κενή δεξαμενή καυσίμου

Εάν γεμίσει η δεξαμενή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η χωρητικότητα θα αλλάξει καθώς το καύσιμο έχει υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από τον αέρα.



Σχήμα : Πυκνωτής σε μία γεμάτη δεξαμενή καυσίμου

Εάν η δεξαμενή είναι μερικώς γεμάτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η χωρητικότητα θα αλλάζει ανάλογα με το ύψος της στάθμης του καυσίμου στη δεξαμενή.

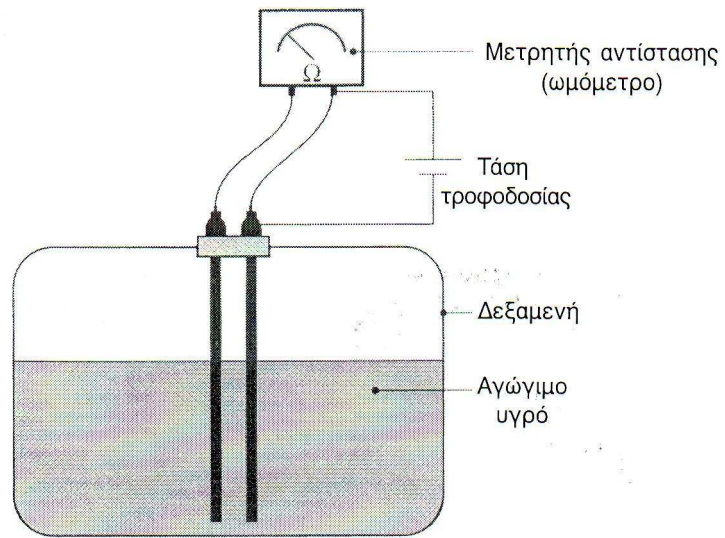


Σχήμα : Πυκνωτής σε μία μερικώς γεμάτη δεξαμενή

Καθώς η στάθμη του καυσίμου ανεβαίνει και κατεβαίνει, η πρόσθετη χωρητικότητα λόγω της ύπαρξης του καυσίμου αυξάνει και μειώνεται με ανάλογο τρόπο. Έτσι οποιαδήποτε αλλαγή της χωρητικότητας μπορεί να προκαλέσει μία αλλαγή στην τάση εξόδου, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για να ενεργοποιήσει μία οθόνη ή ένα μετρητή, καθώς και να καθοδηγήσει μία συσκευή ελέγχου.

### **Βελόνη αγωγιμότητας**

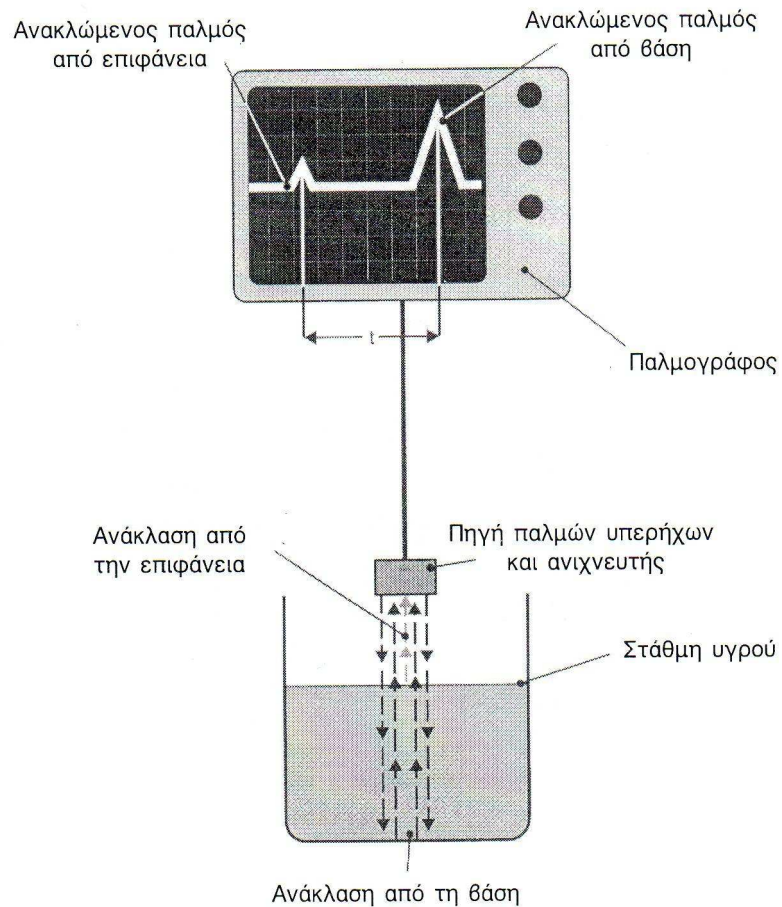
Μια άλλη μέθοδος για την μέτρηση της στάθμης ενός υγρού είναι η βελόνη αγωγιμότητας (conductance probe). Αντί να μετρούμε αλλαγές χωρητικότητας, χρησιμοποιώντας μία βελόνη αγωγιμότητας μετρούμε αλλαγές της αντίστασης ενός ηλεκτρικά αγώγιμου ρευστού. Μια τυπική βελόνη αγωγιμότητας εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτή αντιλαμβάνεται την αλλαγή στην αντίσταση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, καθώς μεταβάλλεται η στάθμη του υγρού. Το όργανο μετρά την αλλαγή της αντίστασης και μπορεί να βαθμονομηθεί σε κατάλληλες μονάδες για να λειτουργεί ως δείκτης της στάθμης ή της ποσότητας, καθώς και να συνδέεται με μία συσκευή ελέγχου. Όταν χρησιμοποιούμε μια βελόνη αγωγιμότητας πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας παράγοντες όπως η διάβρωση, η διαρροή και η αγωγιμότητα του υγρού που μετριέται. Οι περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως η θερμοκρασία, επηρεάζουν την αγωγιμότητα του υγρού και επομένως το σύστημα μέτρησης, όπως μπορεί και η ύπαρξη προσμίξεων και η αλλαγή της χημικής σύνθεσης του υγρού. Επειδή υπάρχει μία διαφορά δυναμικού, σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να σημειωθεί εκκένωση τόξου μεταξύ των δύο άκρων των βελονών, εάν αυτές παραμείνουν ακάλυπτες. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό περιοριστικό παράγοντα, όταν θέλουμε να μετρούμε τη στάθμη εύφλεκτων υγρών.



Σχήμα : Βελόνη αγωγιμότητας

### Μετρητής στάθμης με υπερήχους

Το παρακάτω σχήμα εικονίζει την τυπική μορφή ενός μετρητή στάθμης με υπερήχους (ultrasonic level indicator).



Σχήμα : Μετρητής στάθμης με υπερήχους.

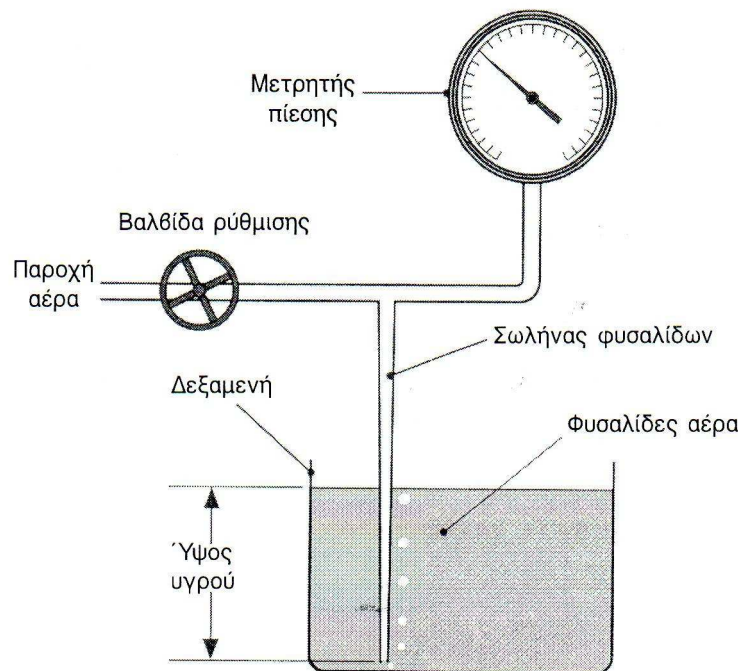
Προς το υγρό εκπέμπονται παλμοί υπερήχων και ένα μικρό ποσοστό από αυτούς ανακλάται προς τα πίσω από την επιφάνεια του υγρού. Το υπόλοιπο των παλμών ανακλάται από την βάση του δοχείου. Και οι δύο ανακλώμενοι παλμοί μπορούν να απεικονισθούν στην οθόνη ενός παλμογράφου.

Η διαφορά στο χρόνο άφιξης ( $t$ ) των δύο παλμών σχετίζεται άμεσα με το βάθος του υγρού που μετριέται και έτσι είναι δυνατή η βαθμονόμηση της οθόνης με βάση το ύψος, το βάθος ή τον όγκο.

Η τεχνική αυτή παρέχει μεγάλη ακρίβεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος τιμών βάθους. Έχει εφαρμογές σε πολλούς τομείς από τις βυθομετρήσεις σε θαλάσσιο περιβάλλον έως τον ιατρικό εξοπλισμό και δεν περιορίζεται μόνο στη μέτρηση της στάθμης υγρών.

### Μετρητής στάθμης φυσαλίδων.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένας μετρητής στάθμης φυσαλίδων (bubbler level gauge).



Σχήμα : Μετρητής στάθμης φυσαλίδων.

Η πίεση του αέρα στο σωλήνα των φυσαλίδων ρυθμίζεται με την βοήθεια της βαλβίδας ρύθμισης έως ότου εμφανιστούν φυσαλίδες στη βάση του σωλήνα φυσαλίδων.

Ο μετρητής μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες ύψους ή όγκου, εφόσον η πίεση στην οποία θα εμφανιστούν οι φυσαλίδες είναι ανάλογη του ύψους ( $h$ ) του υγρού μέσα στο δοχείο.

Με αυτήν τη μέθοδο μπορούν να ληφθούν ακριβής ενδείξεις, παρότι η μέτρηση απαιτεί ανθρώπινη παρέμβαση.

## Αισθητήρας πίεσης

Σε κάποιες περιπτώσεις λήψης μετρήσεων βάρους ή στάθμης όπου απαιτείται η δημιουργία ενός ηλεκτρικού σήματος, μπορούν να χρησιμοποιούνται αισθητήρες πίεσης.

Σε ένα αισθητήρα πίεσης η πίεση χρησιμοποιείται για να προκαλεί μετατόπιση σε ένα διάφραγμα. Η μετατόπιση αυτή δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα μέσω μίας συσκευής, όπως είναι ο μετρητής μηχανικής τάσης και έτσι το σήμα είναι ανάλογο της πίεσης. Οι αισθητήρες πίεσης τοποθετούνται σε μία δεξαμενή, στην οποία θέλουμε να μετρούμε το ύψος ενός υγρού. Κάθε αλλαγή του ύψους παράγει μία ανάλογη μεταβολή στην έξοδο του αισθητήρα. Αναφερόμενοί στο παρακάτω σχήμα η πίεση δίνεται από την σχέση :

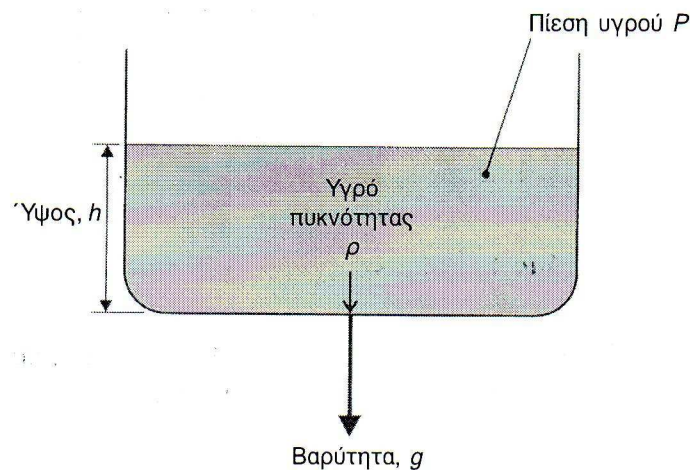
$$P = \rho gh$$

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

όπου :

- $\rho$  είναι η πυκνότητα του υγρού σε  $\text{kg.m}^{-3}$
- $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας που ισούται με  $9.81 \text{ m.s}^{-2}$
- $h$  είναι το ύψος του υγρού σε m.

Επομένως το ύψος ( $h$ ) είναι ανάλογο της πίεσης ( $P$ ), εφόσον η πυκνότητα ( $\rho$ ) και η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g$ ) είναι σταθερά για ένα δεδομένο υγρό και μία δεξαμενή σταθερής διατομής.



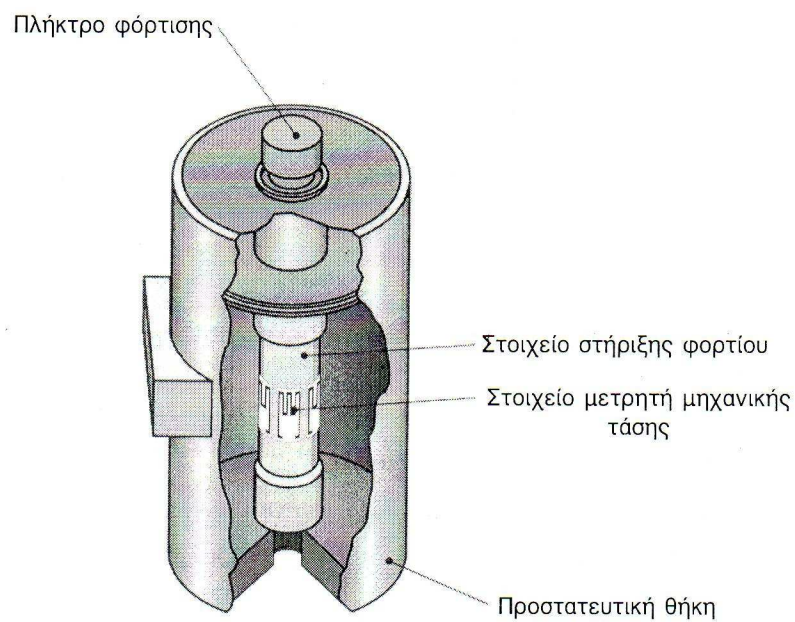
Σχήμα : Πίεση ενός υγρού

### 4.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ

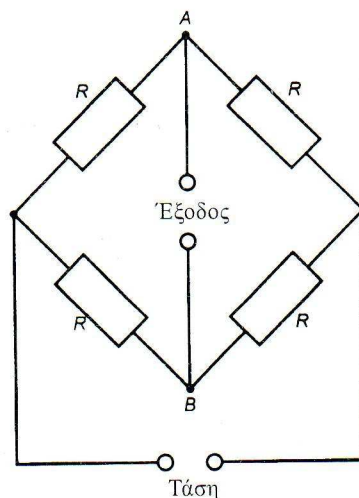
Το βάρος μιας ουσίας ισούται με την μάζα της επί την επιτάχυνση της βαρύτητας. Είναι συχνά πιο εύκολο να μετράμε το βάρος μιας ουσίας και από αυτό να προσδιορίζουμε άλλες παραμέτρους από αυτό, όπως είναι ο όγκος και η στάθμη.

#### Κυψελίδες φόρτισης

Οι κυψελίδες φόρτισης (load cells) είναι συσκευές που χρησιμοποιούν μετρητές μηχανικής τάσης για να προσδιορίσουμε την τιμή μιας άγνωστης δύναμης (φορτίο) ή μάζας. Μια τυπική κυψελίδα φόρτισης με μετρητή μηχανικής τάσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Κυψελίδα φόρτισης με μετρητή μηχανικής τάσης.



Σχήμα : Γέφυρα Wheatstone

Αυτή χρησιμοποιεί τέσσερις μετρητές μηχανικής τάσης, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο στοιχείο στήριξης φορτίου, το οποίο δέχεται τη δύναμη. Όταν το στοιχείο αυτό βρίσκεται υπό μηχανική τάση, τότε προκαλούνται μικρές μεταβολές στις αντιστάσεις των τεσσάρων μετρητών. Τα στοιχεία, μαζί με κατάλληλες αντιστάσεις σταθερής τιμής, συγκροτούν μία γέφυρα Wheatstone. Η γέφυρα Wheatstone ρυθμίζει το σήμα εξόδου της ώστε να είναι ανάλογο του είδους της μηχανικής τάσης που ασκείται. Η τιμή της διαφοράς δυναμικού στην έξοδο της σχετίζεται με το μέγεθος του εφαρμοζόμενου φορτίου.

Τα σφάλματα που προκαλούν οι μεταβολές θερμοκρασίας (καθώς επηρεάζονται οι τιμές των αντιστάσεων) μπορούν να ελαχιστοποιηθούν εάν οι μετρητές μηχανικής τάσης προσαρμοστούν ηλεκτρικά.

Οι κυψελίδες φόρτισης χρησιμοποιούνται για την μέτρηση π.χ. του βάρους υλικών που αποθηκεύονται σε κάδους, του βάρους οχημάτων σε γέφυρες ζύγισης και την μέτρηση της στάθμης ή του όγκου υγρών σε δεξαμενές (εάν είναι γνωστό το βάρος μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος).

Η τεχνική είναι ακριβής, σχετικά φθηνή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρύ φάσμα φορτίων.

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται οι προδιαγραφές των κυψελίδων φόρτισης με μετρητές μηχανικής τάσης. Οι προδιαγραφές δείχνουν ότι οι συσκευές αυτές είναι ακριβείς (καλύτερα από 0,25%), είναι γραμμικές (καλύτερα από 90%), έχουν καλή επαναληψιμότητα (καλύτερα από 0,25%), και είναι ανθεκτικές σε υπερφόρτιση (καλύτερα από 150%).

<b>Κυψελίδες φόρτισης με μετρητές μηχανικής τάσης:</b> συμπίεσης, εφελκυσμού, γενικοί				
<i>Συμπίεση:</i> μόνο κυψελίδα ακριβείας				
<i>Εφελκυσμός:</i> μόνο κυψελίδα ακριβείας				
<i>Γενικοί</i> (είτε συμπίεσης είτε εφελκυσμού): κυψελίδα γενικής χρήσης				
<b>Ηλεκτρικά δεδομένα (για όλα τα μοντέλα)</b>				
<i>Στάθμη εξόδου (RO)</i>	3mV/V			
<i>Προτεινόμενη διέγερση:</i>	10 V a.c ή d.c.			
<i>Μέγιστη διέγερση:</i>	20 V a.c ή d.c.			
<i>Σημείο μηδενός:</i>	±1% RO			
<i>Αντίσταση εισόδου στους ακροδέκτες:</i>	350 ± 3.5 Ω			
<i>Αντίσταση εξόδου στους ακροδέκτες:</i>	350 ± 5.0 Ω			
<i>Αντίσταση μόνωσης (γέφυρας-γης)</i>	5000 MΩ			
<b>Μηχανικά δεδομένα</b>	<i>Χωρητικότητα (N)</i>			
	4460	8920,13,380	22,300	44,600
<i>Μάζα (kg)</i>	0.1	0.1	0.25	4.5
<i>Απόκλιση (mm)</i>	0.15	0.13	0.18	0.13
<i>Φυσική συχνότητα (Hz)</i>	1800	2600	2200	3400
<i>Μήκος (mm)</i>	115.90	115.90	150.83	150.83
<i>Διάμετρος (mm)</i>	88.90	88.90	88.90	88.90



Γενικά δεδομένα	C3P1	T3P1	U3G1
<b>Ακρίβεια</b>			
Ακρίβεια βαθμονόμησης (% RO)	0.1	0.1	0.25
Μη γραμμικότητα (% RO)	0.05	0.05	0.10
Υστέρηση (% RO)	0.02	0.02	0.02
Επαναληψιμότητα (% RO)	0.02	0.02	0.02
<b>Θερμοκρασία</b>			
Θερμοκρασιακό εύρος, με αντιστάθμιση	από - 9 °C έως 46 °C		
Θερμοκρασιακό εύρος, ασφαλείας	από - 34 °C έως 79 °C		
Επίδραση θερμοκρασίας στη στάθμη εξόδου (% ένδειξης / °C)	±0.014	±0.014	±0.009
Επίδραση θερμοκρασίας στο σημείο μηδενός (% RO/°C)	±0,0027	±0,0027	±0,0027

<b>Προδιαγραφές υπερφόρτωσης</b>			
Υπερφόρτωση ασφαλείας (% χωρητικότητας)	150	150	150
Μέγιστη υπερφόρτωση (% χωρητικότητας)	300	300	300
Μέγιστη πλευρική υπερφόρτωση (% χωρητικότητας)	30	10	10
Μέγιστη ροπή κάμψης (% χωρητικότητας, σε Nm)	2.8	2.8	2.8
Μέγιστο φορτίο ροπής (% χωρητικότητας, σε Nm)	1.1	1.1	1.1

Σχήμα : Προδιαγραφές κυψελίδας φόρτισης με μετρητές μηχανικής τάσης

### Ζυγός ελατηρίου

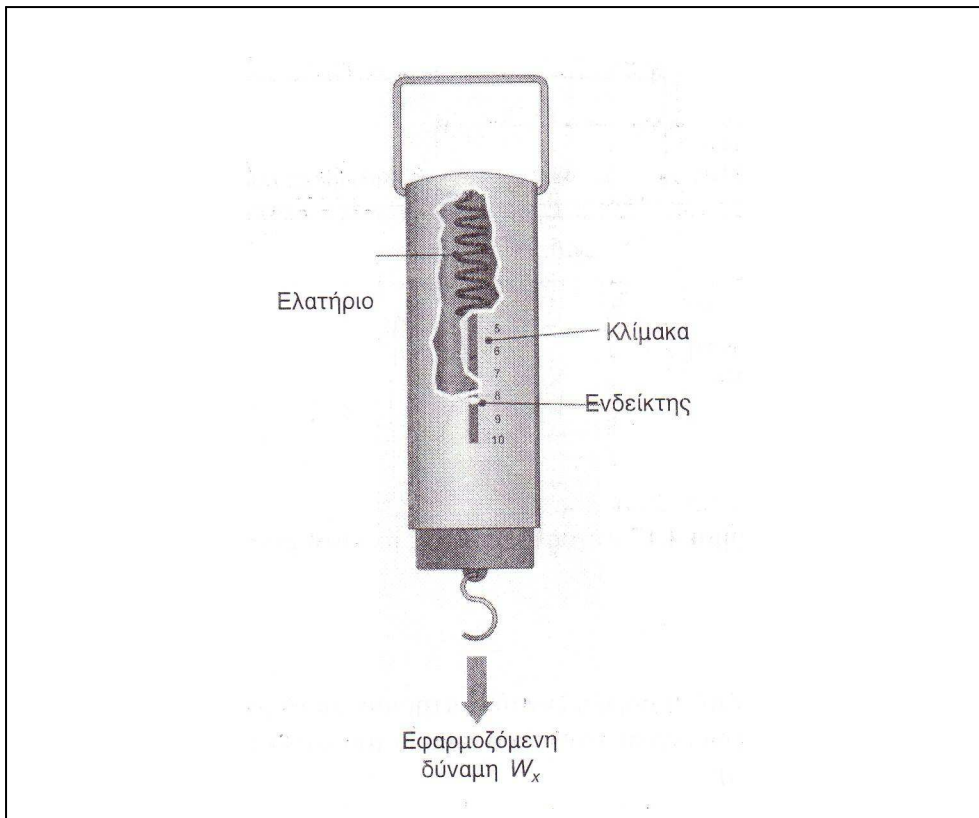
Μια τυπική μορφή ζυγού ελατηρίου εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Το ελατήριο είναι στερεωμένο στο ανώτερο σημείο του και εκτείνεται λόγω της εφαρμοζόμενης δύναμης  $W_x$ .

Η επιμήκυνση του ελατηρίου είναι ανάλογη της δύναμης (Νόμος του Hooke). Αυτό επιτρέπει την κλίμακα να βαθμονομηθεί απευθείας σε μονάδες δύναμης (N) ή μονάδες μάζας (kg).

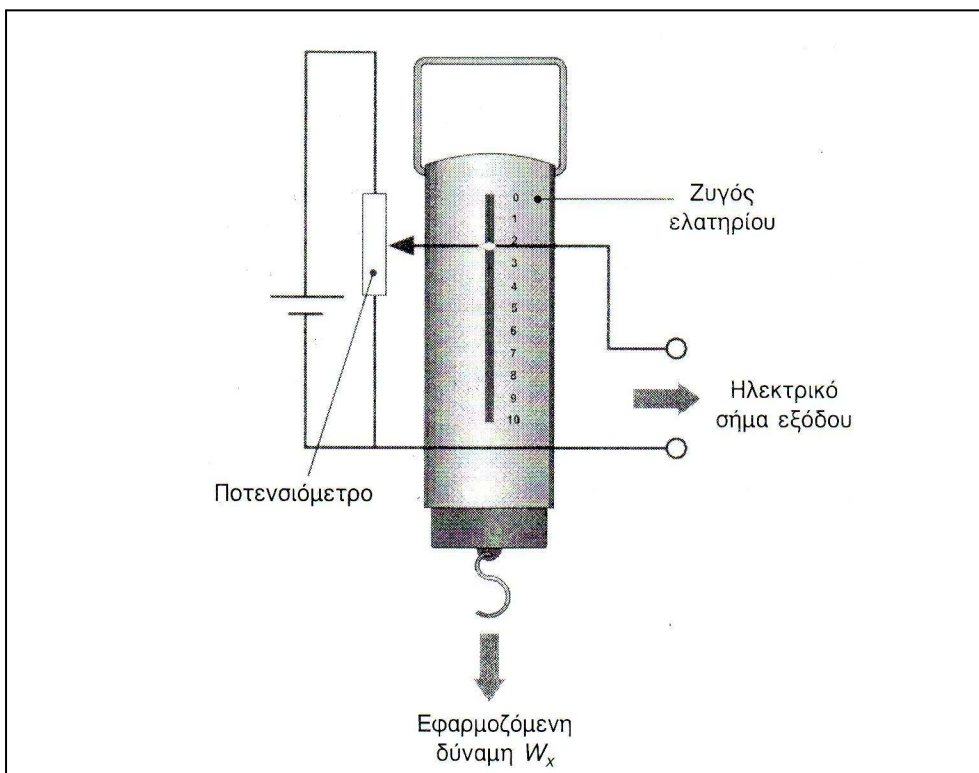
Δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια με την μέθοδο αυτή, αλλά είναι δυνατή η εύκολη και γρήγορη εκτίμηση της τιμής μίας μάζας ή δύναμης.

Το εύρος των μαζών ή δυνάμεων που μπορούν να μετρηθούν από ένα ζυγό καθορίζεται από :

- το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το ελατήριο
- το πάχος του σύρματος του ελατηρίου
- τη διάμετρο και το μήκος του ελατηρίου



Σχήμα : Ζυγός ελατηρίου



Σχήμα : Ζυγός ελατηρίου και ποτενσιόμετρο

Συνδυάζοντας το ζυγό ελατηρίου με ένα ποτενσιόμετρο, όπως εικονίζεται στο προηγούμενο σχήμα μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα ηλεκτρικό σήμα εξόδου, το οποίο να είναι ανάλογο του εφαρμοζόμενου φορτίου.

Ο ζυγός ελατηρίου μετατρέπει την εφαρμοζόμενη δύναμη σε μετατόπιση και το ποτενσιόμετρο μετατρέπει την μετατόπιση σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτό αποτελεί μία απλή και φθηνή μέθοδο για την λήψη μετρήσεων μάζας, δύναμης, στάθμης, όγκου και πίεσης από απόσταση. Στην περίπτωση αυτή το ποτενσιόμετρο δημιουργεί ένα σήμα εξόδου ανάλογο της δύναμης.

### Μετρητές στάθμης

**Εφαρμογή.** Για υψηλές θερμοκρασίες οι μετρητές στάθμης είναι απαραίτητοι σε μία μεγάλη ομάδα χημικών βιομηχανιών.

Οι μετρητές στάθμης είναι όργανα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανίες όπου είτε το τελικό είτε ένα ενδιάμεσο προϊόν είναι σε υγρή φάση και αποθηκεύεται. Η αποθήκευση, είτε στο τελικό είτε σε ένα ενδιάμεσο στάδιο παραγωγής γίνεται σε ένα δοχείο ή ακόμα και σε μία δεξαμενή. Οι μετρητές στάθμης κατά περίπτωση μπορούν να είναι απαραίτητοι σε μία μεγάλη γκάμα χημικών βιομηχανιών, από τα πετρελαιοειδή μέχρι τα τρόφιμα ή ακόμα και τα φάρμακα.

Η ακρίβεια της μέτρησης τους είναι πολύ σημαντική σε κάθε περίπτωση. Όταν όμως η αποθήκευση γίνεται σε δεξαμενές, έχει άμεση σχέση και με την οικονομικότητα της διαδικασίας παραγωγής και εμπορίας, καθώς ένα σφάλμα λίγων χιλιοστών μπορεί να σημαίνει εσφαλμένη εκτίμηση της ποσότητας του προϊόντος σε κλίμακα κάποιων εκατοντάδων λίτρων.

Υπάρχουν πολλοί τύποι μετρητών στάθμης όπως αναφερθήκαμε και προηγουμένως. Ο πιο κοινός είναι ο μετρητής τύπου πλωτήρα, όπου η ένδειξη της στάθμης λαμβάνεται πρωταρχικά από τον πλωτήρα καταλλήλου υλικού και ειδικού βάρους που επιπλέει πάνω στην επιφάνεια του υγρού.

Το σήμα μπορεί να το δίνει έξω από το δοχείο ή τη δεξαμενή, με διάφορους τρόπους, κι έχουμε έτσι υποπεριπτώσεις, όπως τους μηχανικούς μετρητές πλωτήρα, τους μαγνητικούς μετρητές πλωτήρα κ.α. Υπάρχουν όμως και άλλοι τύποι μετρητών στάθμης, με λιγότερο απλή αρχή λειτουργίας, όπως οι μετρητές διαφορικής πίεσης, αλλά και οι μετρητές που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ανάκλαση κάποιου κύματος. Τέτοιοι είναι οι μετρητές υπερήχου, τα ραντάρ ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και οι μετρητές laser.

### Δυνατότητες

Οι τύποι μετρητών στάθμης έχουν διαφορετικές δυνατότητες. Δηλαδή, άλλη ανάλυση κι ακρίβεια μέτρησης, ξεχωριστό εύρος μέτρησης, αλλά και διαφορετική συμπεριφορά σε ειδικές συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα τα ραντάρ έχουν μεγαλύτερη ανάλυση (της τάξεως ενός mm), από τους μετρητές πλωτήρα. Οι μετρητές laser επιτυγχάνουν μία εξαιρετική ανάλυση της τάξεως ενός μm, αλλά μέσα σε ένα εύρος μέτρησης λίγων μόνο εκατοστών. Όπως είναι αυτονόητο, Η επιλογή ενός μετρητή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται όχι μόνο από τις τεχνικές του δυνατότητες, αλλά και από το κόστος του. Έτσι λοιπόν κρίνεται ασύμφορο να χρησιμοποιείται π.χ ο μετρητής τύπου ραντάρ, σε όλες τις περιπτώσεις, ο οποίος συγκεντρώνει ένα εξαιρετικό συνδυασμό δυνατοτήτων, γιατί μπορεί να υπάρχει ένας φθηνότερος

μετρητής, ο οποίος μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Είναι λοιπόν απαραίτητο και οι μετρητές ενδιάμεσων δυνατοτήτων να εξελίσσονται τεχνολογικά, προκειμένου να καλύπτουν ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας και να διευρύνουν τα πεδία στα οποία εφαρμόζονται.

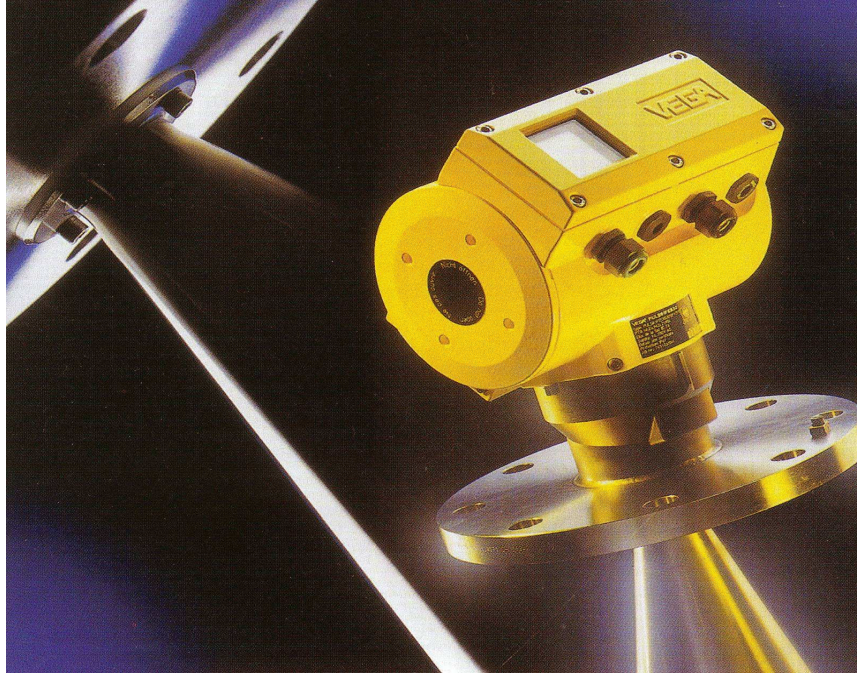


Σχήμα : Level transmitter που λειτουργούν με την μέθοδο των υπερήχων

### **Θερμοκρασία**

Μια τέτοια περίπτωση έχουμε στους μετρητές υπερήχου, οι οποίοι γενικά δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές όπου έχουμε μεταβολή της θερμοκρασίας του μετρούμενου υγρού. Σήμερα οι μετρητές υπερήχου, με την βελτιωμένη τεχνολογία τους μπορούν να εργαστούν ικανοποιητικά και σε δοχεία ή δεξαμενές υγρών με υψηλές θερμοκρασίες. Ένα παράδειγμα είναι οι δεξαμενές αποθήκευσης σε μία ζυθοποιία. Όταν χρησιμοποιούμε μετρητές τύπου υπερήχου υπάρχουν δυσκολίες στη μέτρηση της στάθμης δεξαμενών αποθήκευσης τελικών φάσεων παραγωγής μύρας. Οι συνθήκες υπό τις οποίες βρίσκεται το προϊόν μέσα στη δεξαμενή αφορούν μεταβολές θερμοκρασιών, αλλά και ύπαρξη ατμών και συμπυκνωμάτων, και δυσχεραίνουν τη μέτρηση. Συνιστούν, μάλιστα, πραγματική πρόκληση για τους μετρητές υπερήχου, γιατί εμπλέκονται άμεσα στην αρχή λειτουργίας τους. Για παράδειγμα, η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα διαμέσου του οποίου μεταδίδεται το ηχητικό κύμα. Είναι χαρακτηριστικό πως στους 70°C ο μετρητής εμφανίζει τυπική απόκλιση 12% από μία μέτρηση αναφοράς που γίνεται στους 0°C. Μια διαστρωμάτωση διαφορετικών ατμών μέσα στη δεξαμενή μπορεί να προκαλέσει αύξηση ή μείωση της ταχύτητας του ηχητικού κύματος ή ακόμα και ανάκλαση του πάνω σε ένα στρώμα ατμού. Η συμπύκνωση νερού στην μεμβράνη του αισθητηρίου μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη συχνότητα και να μειώσει την εκπεμπόμενη ισχύ του μετρητή, αλλά μπορεί να μειώσει και της ευαισθησία του. Στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε συνήθως μετρητές τύπου ραντάρ, γιατί αυτοί δεν

επηρεάζονται από την θερμοκρασία του αέρα και από την ύπαρξη ατμών στη δεξαμενή. Παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί τεχνικές, ώστε και οι μετρητές υπερήχου να κατορθώνουν να προσπερνούν προβλήματα σαν και αυτά που προαναφέρθηκαν. Για το πρόβλημα της θερμοκρασίας έχουν κατασκευαστεί μετρητές στάθμης που είναι εφοδιασμένοι με ένα δεύτερο όργανο, έναν transducer (μετατροπέας) θερμοκρασίας, ο οποίος μπορεί να μετρήσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα στη δεξαμενή.



Σχήμα : Level transmitter τύπου ραντάρ

### Διόρθωση

Με βάση την εκάστοτε μετρηθείσα θερμοκρασία, ένας μικροεπεξεργαστής υπολογίζει ένα συντελεστή διόρθωσης και τον πολλαπλασιάζει με την μέτρηση. Έχει διαπιστωθεί ότι με την μέθοδο αυτή ο μετρητής στάθμης μπορεί να επιτύχει ακρίβεια μέτρησης 0.25%, ακόμα και σε συνθήκες μεταβαλλόμενης –κατά το ύψος του δοχείου ή της δεξαμενής– θερμοκρασίας.

Εκτός από τον transducer θερμοκρασίας οι σύγχρονοι μετρητές υπερήχου διαθέτουν αισθητήρια που χρησιμοποιούν υψηλής συχνότητας σήματα, προκειμένου να διαπεράσουν τα διαφορετικά στρώματα αέρα και ατμών μέσα σε μία δεξαμενή. Οι συχνότητες αυτές είναι της τάξεως των 50Hz και είναι διπλάσιες από τις συχνότητες των συνήθως μετρητών υπερήχου. Οι τελευταίας τεχνολογίας μετρητές περιλαμβάνουν βελτιωμένο σχεδιασμό και ως προς το πρόβλημα της εμφάνισης συμυκνώματος νερού. Για να το ξεπεράσουν, χρησιμοποιούν μεγαλύτερες μεμβράνες, της τάξεως των 55mm, ενώ οι τυπικοί μετρητές υπερήχου χρησιμοποιούν μεμβράνες που κινούνται στην περιοχή 15-25mm.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Η λέξη πίεση αποτελεί ένα γενικό όρο και γενικά είναι μία μορφή μηχανικής τάσης. Όταν αναλύουμε τη δύναμη που παράγεται από ένα ρευστό, για παράδειγμα τον αέρα ή κάποιο υγρό που ρέει, χρησιμοποιούμε τη λέξη πίεση. Η δύναμη που προκαλείται από ή ασκείται σε ένα στερεό αντικείμενο αναφέρεται συνήθως ως μηχανική τάση (stress).

Επειδή ο αέρας έχει βάρος, οτιδήποτε βρίσκεται επάνω στην επιφάνεια της Γης υφίσταται πίεση. Αυτή είναι γνωστή ως ατμοσφαιρική πίεση ( $1.01325 \times 10^5 \text{ N.m}^{-2}$ )

Επειδή υπάρχουν μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση, δεν είναι πάντοτε σκόπιμο να μετρούμε την πίεση με απόλυτο τρόπο (η απόλυτη πίεση μετριέται με αναφορά τη μηδενική πίεση). Οι απόλυτες μετρήσεις απαιτούν την ακριβή μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ένας όρος που χρησιμοποιείται κατά την μέτρηση των πιέσεων είναι η πίεση μετρητή (gauge pressure) η οποία χρησιμοποιεί ως πίεση αναφοράς την ατμοσφαιρική πίεση. Η απόλυτη τότε πίεση είναι τότε το άθροισμα της πίεσης μετρητή και της ατμοσφαιρικής.

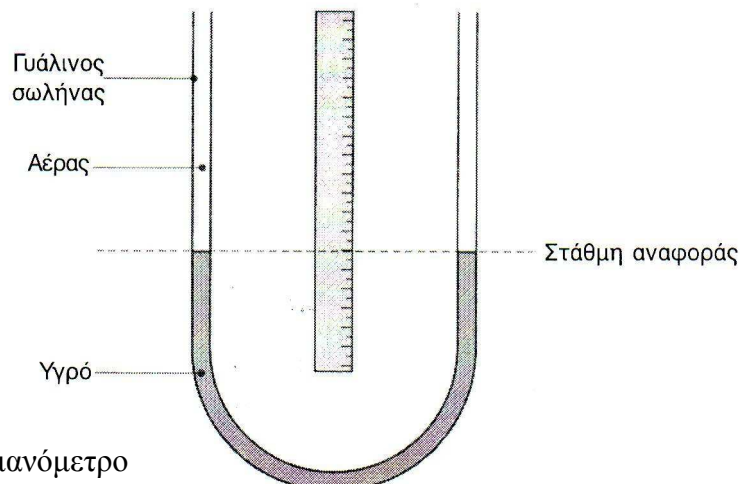
### 5.2 Μανόμετρα Υγρού

Τεχνικά ο όρος μανόμετρο (manometer) περιγράφει οποιαδήποτε συσκευή μετράει πίεση. Εντούτοις η λέξη αυτή χρησιμοποιείται για να εννοεί έναν αισθητήρα πίεσης που αντιλαμβάνεται τις αλλαγές πίεσης με την βοήθεια ενός υγρού μέσα σε ένα σωλήνα.

Τα μανόμετρα είναι διαφορικοί αισθητήρες πίεσης. Ένας τέτοιος αισθητήρας μετρά τη διαφορά ανάμεσα στην πίεση που εφαρμόζεται και μία πίεση αναφοράς (συνήθως την ατμοσφαιρική).

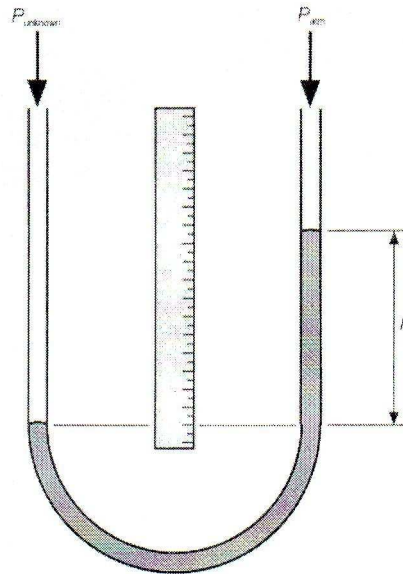
#### Μανόμετρο υοειδούς σωλήνα

Ένα υοειδές μανόμετρο ( U-tube manometer) αποτελείται από ένα διάφανο πλαστικό ή γυάλινο σωλήνα, ο οποίος έχει σχήμα "U" και είναι εν μέρει γεμάτος με κάποιο υγρό, όπως νερό, αλκοόλη ή υδράργυρος. Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του υγρού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία του μανομέτρου.



Σχήμα : Υοειδές μανόμετρο

Τα δύο άκρα του μανόμετρου είναι ανοιχτά με αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική πίεση να πιέζει εξίσου και τις δύο στάθμες του υγρού με αποτέλεσμα το ύψος του υγρού στις δύο κατακόρυφες πλευρές του σωλήνα να είναι το ίδιο.



Σχήμα : Υοειδές μανόμετρο

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το μανόμετρο υοειδούς σωλήνα που έχει μια άγνωστη πίεση  $P_{unknown}$  στο αριστερό του άκρο. Το άλλο άκρο του σωλήνα παραμένει σε ατμοσφαιρική πίεση  $P_{atm}$ . Η άγνωστη πίεση πιέζει το υγρό στο αριστερό άκρο και το αναγκάζει να κινηθεί προς τα κάτω. Επειδή το υγρό είναι ασυμπίεστο, κινείται προς τα επάνω στο άλλο άκρο. Άρα το ύψος του υγρού στις δύο πλευρές του μανόμετρου δεν θα είναι πια το ίδιο. Η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του υγρού στους δύο σωλήνες ( $h$ ), είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της άγνωστης πίεσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Η διαφορά ανάμεσα στην άγνωστη πίεση και την ατμοσφαιρική αποτελεί την πίεση μετρητή.

$$P_{gauge} = P_{unknown} - P_{atm} = \rho gh$$

- $\rho$  είναι η πυκνότητα του υγρού στο σωλήνα, σε  $kg \cdot m^{-3}$
- $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, που είναι  $9,81 m \cdot s^{-2}$
- $h$  είναι η διαφορά ύψους στάθμης του υγρού, σε  $m$

Εάν γνωρίζουμε την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης, ή αποδεχθούμε την τυπική τιμή της, τότε μπορούμε να βρούμε την τιμή της πίεσης  $P_{unknown}$ , με την βοήθεια της σχέσης :

$$P_{unknown} = P_{atm} + \rho gh$$

### 5.3 Ελαστικοί αισθητήρες

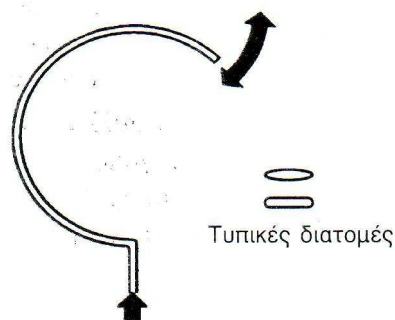
Οι ελαστικοί αισθητήρες (elastic pressure sensors) ονομάζονται έτσι επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί όταν εφαρμόζεται σε αυτό μία πίεση.

Οι αισθητήρες τέτοιου τύπου αρχικά μετατρέπουν την πίεση σε μετατόπιση. Μερικοί αισθητήρες πίεσης ονομάζονται με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να

μετρούν αυτήν τη μετατόπιση, όπως οι πιεζοηλεκτρικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης.

### Μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourbon

Ο μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourbon έχει ονομαστεί προς τιμή του Eugene Bourbon και είναι πιθανώς ο πιο δημοφιλής μετρητής πίεσης. Οι μετρητές τέτοιου είδους είναι κατασκευασμένοι από κράματα, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο ορείχαλκος. Αποτελούνται από ένα σωλήνα με ελλειπτική ή οβάλ διατομή, που είναι σφραγισμένος στο ένα άκρο του. Υπάρχουν διάφορες μορφές σωλήνων Bourbon, όπως είναι ο ελικοειδής, ο σπειροειδής και ο συνεστραμμένος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τυπικός σωλήνας Bourbon σχήματος C.

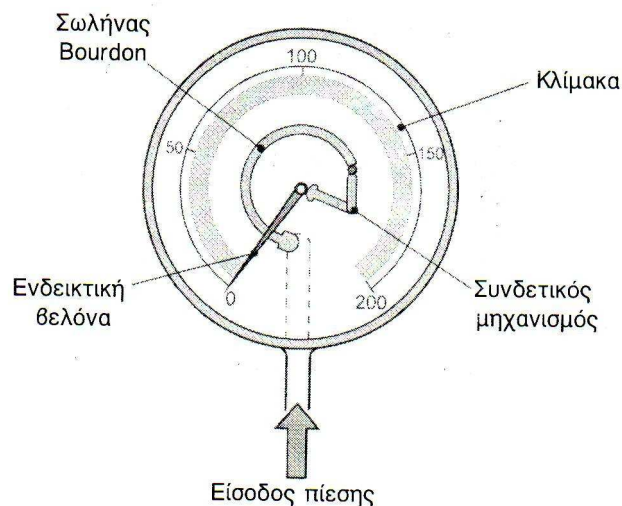


Σχήμα : Σωλήνας Bourbon

Εδώ ο σωλήνας βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Όταν εφαρμοστεί στο ανοικτό άκρο κάποια αυξημένη πίεση, τότε ο σωλήνας αποκλίνει προς τα έξω, δηλαδή τείνει να ευθυγραμμιστεί, ανάλογα με την πίεση που υπάρχει στο εσωτερικό του (καθώς στο εσωτερικό του επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση).

Καθώς η πίεση μειώνεται, ο σωλήνας αρχίζει να επανέρχεται στην αρχική του θέση, που αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση. Το ποσό κατά το οποίο μετακινείται ο σωλήνας για μια δεδομένη εξωτερική πίεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το υλικό, το σχήμα, το πάχος και το μήκος του.

Ένας μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourbon φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

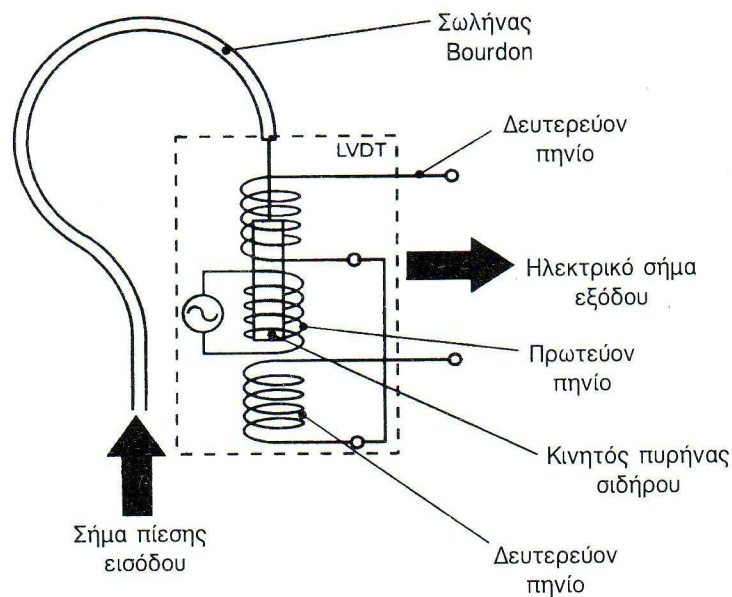


Σχήμα : Μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourbon



Αυτός αποτελείται από ένα σωλήνα Bourbon που συνδέεται με μία ενδεικτική βελόνα. Η βελόνα κινείται επάνω σε μία βαθμονομημένη κλίμακα. Όταν εφαρμόζεται κάποια πίεση, η κίνηση του σωλήνα είναι σχετικά μικρή και έτσι για να αυξηθεί η απόκλιση της βελόνας πραγματοποιείται μηχανική ενίσχυση. Αυτό γίνεται με την βοήθεια ενός συνδετικού μηχανισμού που αποτελείται από ένα σύστημα βραχίονα., τόξου και οδοντωτού τροχού. Οι σωλήνες Bourbon πρέπει να έχουν κάποιας μορφής αντιστάθμισης για την θερμοκρασία, καθώς οι αλλαγές θερμοκρασίας επηρεάζουν την ακρίβεια τους.

Στην περίπτωση μετρήσεων από απόσταση, η μετατόπιση που υφίσταται ο σωλήνας Bourbon λόγω αλλαγών πιέσεων μπορεί να ανιχνευθεί από κάποιον κατάλληλο αισθητήρα μετατόπισης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να συνδεθεί ένας σωλήνας Bourbon με ένα διαφορικό αισθητήρα μετατόπισης (LVDT).



Σχήμα : Συνδυασμός σωλήνα Bourbon με ένας LVDT

Ο διαφορικός αισθητήρας μετατόπισης μετατρέπει τη μετατόπιση που παράγει ο σωλήνας Bourbon σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό μπορεί να απεικονιστεί σε μία οθόνη ή να καταγραφεί από μία ηλεκτρική συσκευή που είναι βαθμονομημένη σε μονάδες πίεσης.

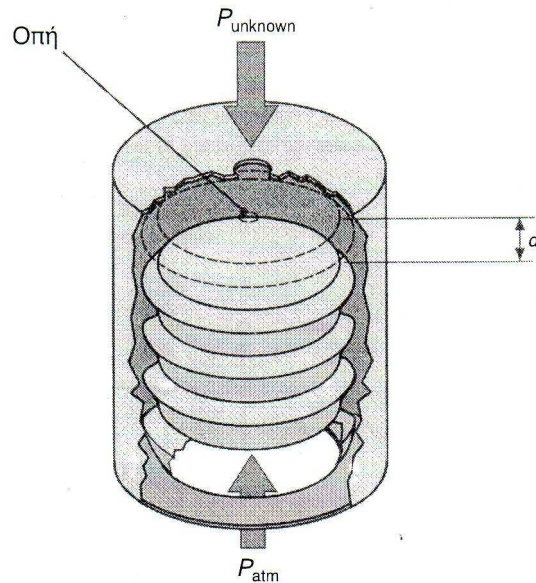
Οι μετρητές πίεσης με σωλήνα Bourbon είναι κατάλληλοι για χρήση σε υγρά και αέρια και χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, βιομηχανικών και οικιακών. Οι εφαρμογές εκτείνονται από τους αισθητήρες πίεσης στα ελαστικά των αυτοκινήτων, στη μέτρηση της πίεσης σε εργαλεία και μηχανήματα που ελέγχονται από πνευματικά συστήματα, έως τον έλεγχο της πίεσης στις σωληνώσεις χημικών εργοστασίων.

## **Φυσητήρας**

Ο φυσητήρας (bellows) είναι ένας διαφορικός αισθητήρας πίεσης που χρησιμοποιείται κυρίως στην περιοχή των μικρών πιέσεων, από 0 έως 1000 Pa.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται η μορφή ενός συνόλου μεταλλικών φυσητήρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα σε μία προστατευτική θήκη. Οι φυσητήρες είναι

κατασκευασμένοι από ένα λεπτό σωλήνα από κράμα χαλκού που πιέζεται και λαμβάνει τη μορφή ενός αυλακωτού φύλλου.



Σχήμα : Ο Φυσητήρας

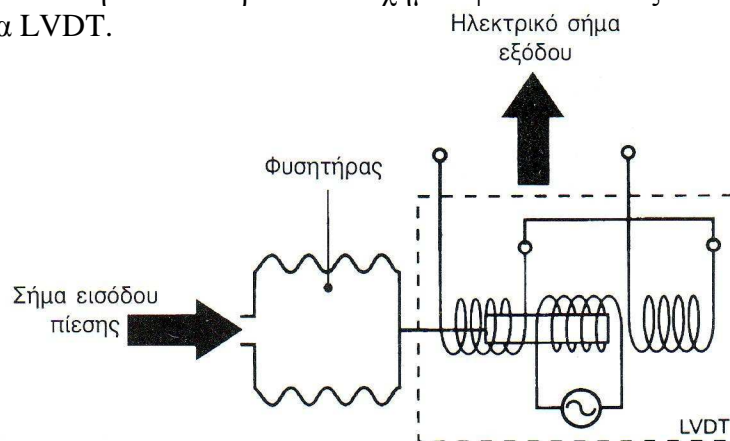
Ο σωλήνας είναι σφραγισμένος στο ένα άκρο και έχει μία μικρή οπή στο άλλο. Όταν εφαρμοστεί πίεση μέσω της οπής, τότε ο φυσητήρας διαστέλλεται κατά μήκος  $d$ . Η μετατόπιση μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες πίεσης.

Η πίεση που ασκείται στο φυσητήρα είναι  $P_{unknown}$  και δίνεται από την εξίσωση:

$$P_{unknown} = \frac{d \lambda}{A}$$

- $d$  είναι η απόσταση που διαγράφεται από τον φυσητήρα, σε m
- $A$  είναι το εμβαδόν διατομής του φυσητήρα, σε  $m^2$
- $\lambda$  είναι η σταθερά του φυσητήρα, σε  $N \cdot m^{-1}$

Οι φυσητήρες παράγουν συνήθως μικρές μετατοπίσεις. Αυτές πρέπει να ενισχύνονται και έτσι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αισθητήρες μετατόπισης, όπως είναι τα LVDT και τα ποτενσιόμετρα, τα οποία παράγουν ένα ηλεκτρικό σήμα από την παραγόμενη μετατόπιση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας αισθητήρας με φυσητήρα και ένα LVDT.



Σχήμα : Συνδυασμός φυσητήρα και LVDT

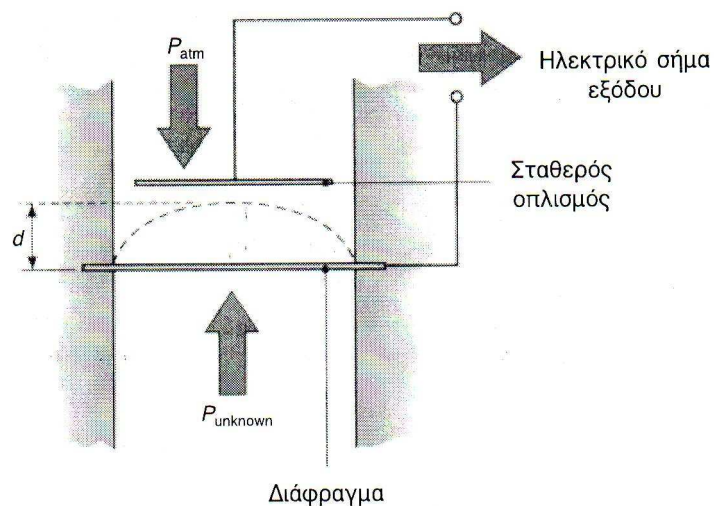
Το LVDT παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα εξόδου που σχετίζεται άμεσα με το σήμα μετατόπισης που ενεργεί ως είσοδος. Αυτό μπορεί στη συνέχεια να απεικονιστεί ή να καταγραφεί από μία συσκευή βαθμονομημένη σε μονάδες πίεσης.

Οι φυσητήρες δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα στα οποία μπορεί να υπόκεινται σε δονήσεις ή κρούσεις. Η ακρίβεια τους επηρεάζεται επίσης από τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Ένα παράδειγμα χρήσης φυσητήρα είναι σε εφαρμογές ελέγχου, για το κλείσιμο βαλβίδων σε ένα σωλήνα όταν η πίεση έχει ανέλθει σε μία κρίσιμη πίεση.

### **Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης**

Οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης (capacitive pressure sensors) χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ιδιότητα της χωρητικότητας για να μετρήσουν τη μετατόπιση ενός διαφράγματος. Το διάφραγμα είναι ένας ελαστικός αισθητήρας πίεσης, ο οποίος μετατοπίζεται ανάλογα με τις μεταβολές της πίεσης και ενεργεί ως οπλισμός πυκνωτή. Το διάφραγμα αποτελείται από ένα λεπτό φύλλο κατασκευασμένο από μεταλλικό κράμα, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο ορείχαλκος. Είναι κυκλικό και στερεωμένο στην περιφέρεια του σε έναν κύλινδρο. Το ποσό κατά το οποίο μετατοπίζεται το διάφραγμα ως προς την άγνωστη πίεση που ασκείται σε αυτό εξαρτάται από το σχήμα του, την κατασκευή, το μέγεθος, το πάχος και το υλικό κατασκευής.

Επειδή η μετατόπιση του διαφράγματος είναι μικρή, πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένας αισθητήρας μετατόπισης με υψηλή ακρίβεια, ευαισθησία και διακριτική ικανότητα. Χρησιμοποιώντας το διάφραγμα ως οπλισμό ενός πυκνωτή, διασφαλίζουμε ότι η μέθοδος ανίχνευσης της μετατόπισης δεν απαιτεί επαφή και έτσι παρέχεται ηλεκτρική έξοδος με άπειρη διακριτική ικανότητα.



Σχήμα : Συνδυασμός διαφράγματος και πυκνωτή

Στο παραπάνω σχήμα εικονίζεται ο συνδυασμός ενός διαφράγματος και ενός πυκνωτή. Ο επάνω οπλισμός του πυκνωτή είναι ακλόνητα στερεωμένος και το διάφραγμα αποτελεί τον δεύτερο οπλισμό. Το διηλεκτρικό του συστήματος είναι ο αέρας. Παρατηρούμε ότι δε χρησιμοποιείται η τεχνική της μεταβλητής επιφάνειας επικάλυψης, όπως στο χωρητικό αισθητήρα μετατόπισης που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αντίθετα, εδώ μεταβάλλεται η απόσταση των οπλισμών.

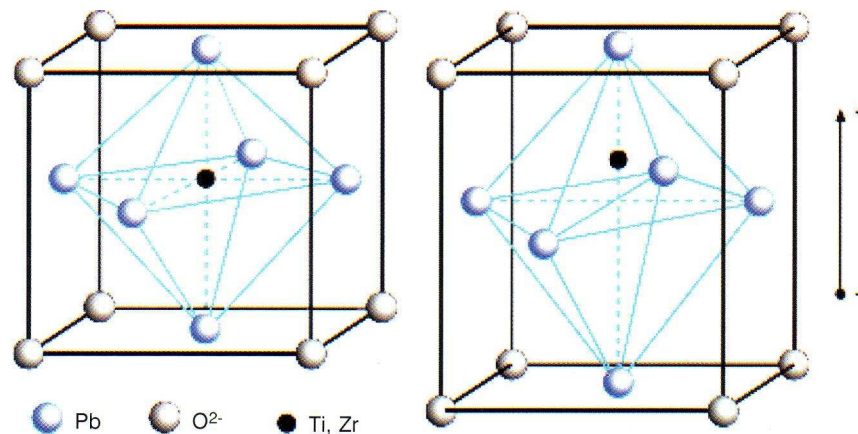
Όταν υπάρξει αλλαγή στην πίεση, το διάφραγμα αποκλίνει ανάλογα με αυτή και έτσι προκαλείται μείωση της απόστασης  $d$  των οπλισμών. Η χωρητικότητα  $C$  του πυκνωτή είναι κατά προσέγγιση αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης  $d$  των οπλισμών δηλαδή είναι :

$$C = \frac{1}{d}$$

Στους οπλισμούς εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό σήμα. Κάθε αλλαγή της χωρητικότητας θα προκαλέσει μεταβολή του σήματος αυτού. Το σήμα στη συνέχεια υφίσταται ρύθμιση και εμφανίζεται σε μία συσκευή που έχει βαθμονομηθεί σε μονάδες πίεσης. Λόγω της ευαισθησίας τους, οι αισθητήρες διαφράγματος χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν μικρές μεταβολές της πίεσης, όπως είναι η μέτρηση μικρών μεταβολών της ροής ενός ρευστού στις σωληνώσεις όπου ρέουν υγρά ή αέρια.

### Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης

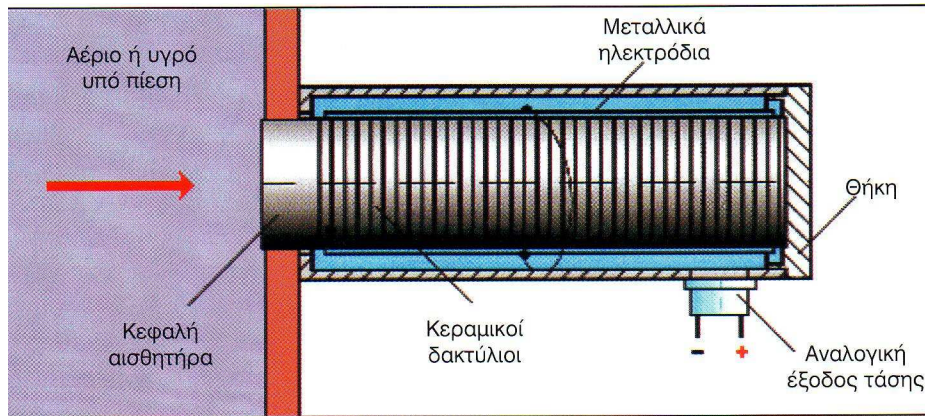
Ορισμένοι φυσικοί αλλά και πολλοί τεχνητοί κρύσταλλοι όταν πιεστούν, έχουν την ικανότητα να αναπτύσσουν τάση στα άκρα τους. Η τάση αυτή οφείλεται στη συγκέντρωση φορτίων, που δημιουργείται από την παραμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



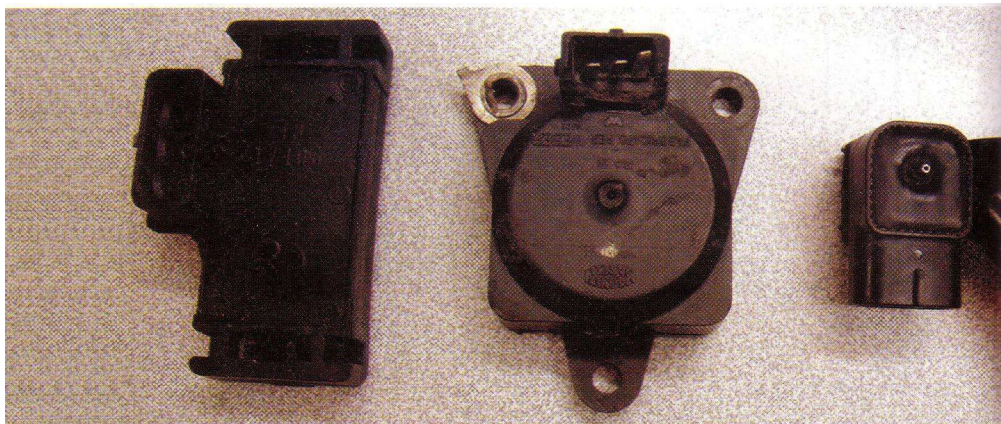
Σχήμα : Όταν παραμορφωθεί το πλέγμα μερικών κρυστάλλων, αναπτύσσεται πιεζοηλεκτρική τάση

Ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης από τεχνητούς κεραμικούς κρυστάλλους φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Είναι ένας παθητικός αισθητήρας επαφής με αναλογική έξοδο τάσης. Αποτελείται από κεραμικούς δακτυλίους και μεταλλικά ηλεκτρόδια κατάλληλα συνδεδεμένα. Η κεφαλή του αισθητήρα πιέζεται απευθείας από το υγρό ή αέριο, την πίεση του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε και μεταδίδει την πίεση αυτή στους δακτυλίους. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα σήμα τάσης εξόδου, που είναι ανάλογο προς την πίεση που ασκείται πάνω στην κεφαλή του αισθητήρα.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες παρουσιάζουν δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους δεν ξεπερνά τους 540 °C. Έτσι σε εφαρμογές, που απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας, όπως για παράδειγμα η μέτρηση πίεσης στα καυσαέρια μιας μηχανής, χρειάζονται κατάλληλη ψύξη. Ακόμη, λόγω της κατασκευής τους δεν μπορούν να μετρήσουν στατικές πιέσεις, αλλά μετρούν μόνο διαρκώς εναλλασσόμενες δυναμικές πιέσεις.



Σχήμα : Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης κεραμικών δακτυλίων



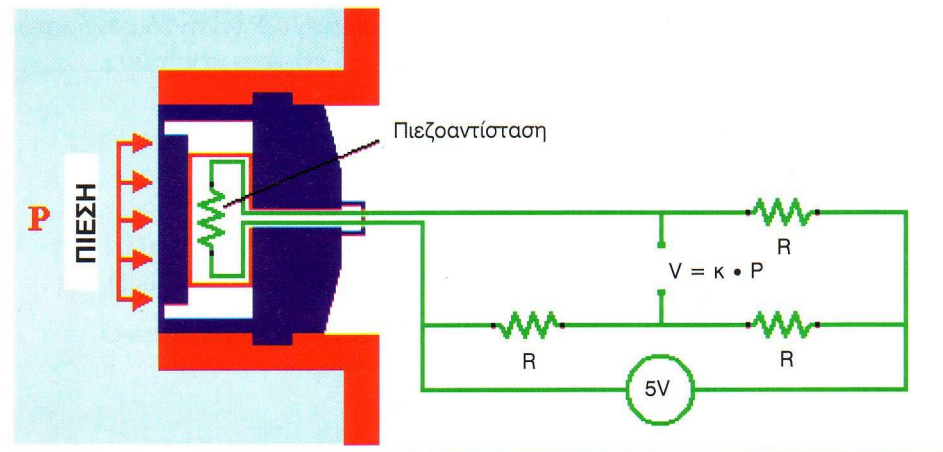
Σχήμα : Διάφορα είδη πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων πίεσης

### Αισθητήρας πίεσης με πιεζοαντίσταση

Μερικά είδη κρυστάλλων χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πιεζοαντιστάσεων, δηλαδή αντιστάσεων των οποίων η τιμή μεταβάλλεται με την πίεση και την παραμόρφωσή τους. Η πιεζοαντίσταση στερεώνεται πάνω σε μία μεμβράνη, που είναι συνήθως κατασκευασμένη από λεπτό φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα. Η μεμβράνη αυτή πιέζεται απευθείας από το υγρό ή αέριο την πίεση του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Με τον τρόπο αυτό η πιεζοαντίσταση επιμηκύνεται, για αυτό και πολλές φορές ο αισθητήρας αυτός λέγεται και επιμηκυνσιόμετρο.

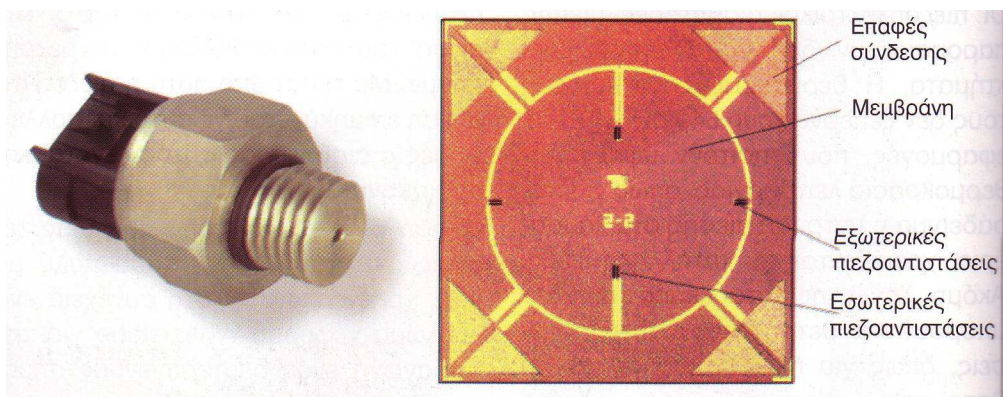
Επειδή η μεταβολή στην τιμή μιας τέτοιας αντίστασης είναι πάρα πολύ μικρή, χρησιμοποιείται στη συνέχεια ένα κύκλωμα γέφυρας Wheatstone για την παραγωγή ενός δευτερογενούς σήματος τάσης. Δημιουργείται έτσι ένας ενεργός αισθητήρας επαφής, με έξοδο τάσης ανάλογη προς την ασκούμενη πίεση στον αισθητήρα. Η τάση αυτή αφού ενισχυθεί, ενημερώνει το μικροϋπολογιστή για την πίεση που ασκεί το υγρό ή το αέριο πάνω στη μεμβράνη του αισθητήρα.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζονται ένας αισθητήρας πιεζοαντίστασης σε συνδυασμό με γέφυρα Wheatstone.



Σχήμα : Αισθητήρας πιεζοαντίστασης σε συνδυασμό με γέφυρα Wheatstone

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας αισθητήρας πίεσης με πιεζοαντίσταση και η μεμβράνη από ανοξείδωτο χάλυβα, πάνω στην οποία στερεώνονται οι μικροσκοπικές πιεζοαντιστάσεις.



Σχήμα : Αισθητήρας πίεσης με πιεζοαντίσταση

Ένας τέτοιος αισθητήρας μπορεί να μετρήσει και στατικές πιέσεις, λειτουργεί όμως με αξιοπιστία σε θερμοκρασίες από  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Θερμοκρασία, ονομάζεται ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σώμα, ουσία ή μέσο είναι θερμό, σε σύγκριση με κάποιο άλλο. Όταν μετρούμε τη θερμοκρασία συγκρίνουμε το βαθμό θερμότητας με κάποιο άλλο συγκεκριμένο σημείο αναφοράς χρησιμοποιώντας κάποιες κλίμακες, όπως οι Κέλβιν και Κελσίου.

Οι συσκευές που μετρούν τη θερμοκρασία ονομάζονται θερμόμετρα (thermometer) και κάποιες φορές αναφέρονται ως πυρόμετρα (pyrometer), εάν μετρούν υψηλές θερμοκρασίες. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη θερμομέτρων. Τα κύρια είδη, τα οποία θα περιγράψουμε, είναι αυτά που μετρούν τη θερμοκρασία στηριζόμενα :

- στη διαστολή ενός υγρού
- στη διαστολή ενός μετάλλου
- στην ηλεκτρική αντίσταση
- στο φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού
- στην ακτινοβολία θερμότητας

### 6.2 Θερμόμετρα διαστολής υγρού

Τα θερμόμετρα διαστολής υγρού (liquid expansion thermometer) στηρίζονται στην αρχή ότι ο όγκος κάποιων υγρών μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία, σε σύγκριση με της αντίστοιχες μεταβολές όγκου που παρατηρούνται στα στερεά σώματα.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένα τυπικό θερμόμετρο υγρού. Αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα, σφραγισμένο και στα δύο άκρα του, με μία λεπτή στήλη στο κέντρο του η οποία περιέχει υγρό.



Σχήμα : Θερμόμετρο υγρού

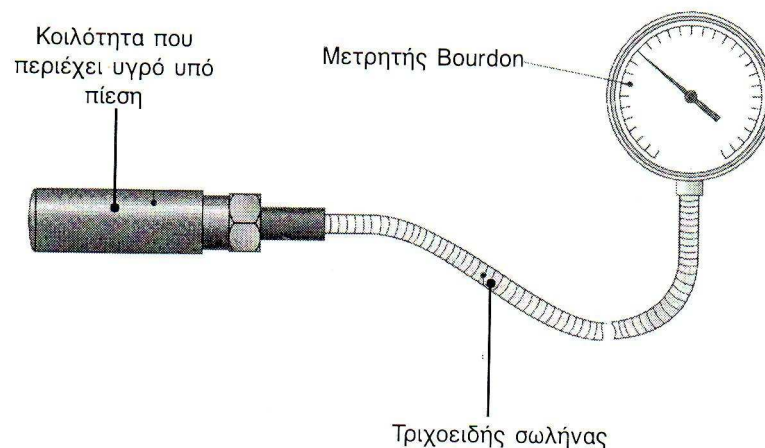
Στο κάτω μέρος η στήλη σχηματίζει μια μικρή δεξαμενή (μπίλια), ενώ στο πάνω μέρος η στήλη εμφανίζει μία κοιλότητα για να επιτρέψει την διαστολή του υγρού.

Έτσι όταν θερμαίνεται το θερμόμετρο, το υγρό διαστέλλεται και αυξάνει το ύψος του μέσα στη γυάλινη στήλη. Επάνω από το υγρό ο χώρος είναι κενός ή υπάρχει κάποιο αέριο που συμπιέζεται όταν το υγρό διαστέλλεται. Στη μία άκρη του στελέχους στήριξης υπάρχει κλίμακα βαθμονομημένη κατάλληλα, ώστε το ύψος του υγρού να είναι ανάλογο της θερμοκρασίας του θερμομέτρου.

Τα υγρά που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα θερμόμετρα είναι συνήθως ο υδράργυρος, η αλκοόλη και κάποια συνθετικά έλαια. Τα θερμόμετρα υγρού είναι φθηνά, εύκολα στη χρήση και αξιόπιστα. Δεν είναι κατάλληλα για μετρήσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας σωμάτων, και επομένως οι βιομηχανικές τους εφαρμογές είναι περιορισμένες, αλλά χρησιμοποιούνται σε μεμονωμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα κατά μήκος σωληνώσεων.

### Μεταλλικά θερμόμετρα

Τα μεταλλικά θερμόμετρα (liquid – in – metal thermometer) λειτουργούν με βάση τη ίδια αρχή με τα θερμόμετρα υγρού. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα τυπικό μεταλλικό θερμόμετρο.



Σχήμα : Μεταλλικό θερμόμετρο

Αυτό αποτελείται από μία μεταλλική κοιλότητα από ανοξείδωτο χάλυβα που περιέχει ένα υγρό, συνήθως υδράργυρο ή αλκοόλη, το οποίο βρίσκεται υπό πίεση. Η μεταλλική κοιλότητα συνδέεται με έναν εύκαμπτο τριχοειδή σωλήνα. Αυτός συνδέεται με ένα σωλήνα Bourdon, ο οποίος είναι βαθμονομημένος σε μονάδες θερμοκρασίας. Όταν διαστέλλεται το υγρό λόγω μιας αύξησης στη θερμοκρασία, ο σωλήνας Bourdon ευθυγραμμίζεται μερικώς. Η κίνηση αυτή ενισχύεται μηχανικά με την βοήθεια γραναζιών και μοχλών και αναγκάζει μια ενδεικτική βελόνα να κινηθεί, οπότε παρέχεται μία άμεση ανάγνωση της θερμοκρασίας.

Τυπικές εφαρμογές των μεταλλικών θερμομέτρων είναι σε χημικά εργοστάσια, μηχανές οχημάτων και για την μέτρηση της θερμοκρασίας κάποιων υγρών μετάλλων.

### 6.3 Διαστολή μετάλλων και διμεταλλικό έλασμα

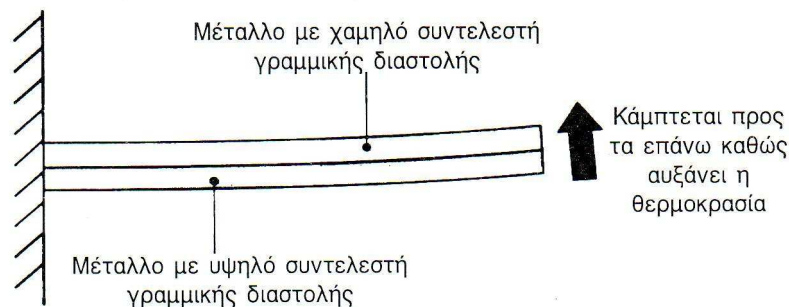
Το διμεταλλικό έλασμα (bimetallic strip) είναι μια κατασκευή που αποτελείται από δύο ανόμοια μεταλλικά ελάσματα του ίδιου μήκους, στερεωμένα ακλόνητα το ένα με



το άλλο με την βοήθεια καρφώματος, συγκόλλησης ή δεσίματος, τα οποία έχουν διαφορετικούς συντελεστές γραμμικής διαστολής. Ο συντελεστής διαστολής είναι το κλάσμα του αρχικού του μήκους, κατά το οποίο διαστέλλεται το μέταλλο, εάν η θερμοκρασία του αυξηθεί κατά ένα βαθμό.

Τα δύο μέταλλα που σχηματίζουν το διμεταλλικό έλασμα είναι συνήθως από ένα κράμα σιδήρου-νικελίου με πολύ μικρό συντελεστή γραμμικής διαστολής και ένα μέταλλο με υψηλό συντελεστή γραμμικής διαστολής, όπως είναι ο ορείχαλκος.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένα διμεταλλικό έλασμα. Το ένα άκρο του ελάσματος είναι στερεωμένο και ακίνητο, και όταν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας το ευθύγραμμο αρχικά έλασμα κάμπτεται.



Σχήμα : Διμεταλλικό έλασμα

Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό ρυθμό διαστολής των δύο μετάλλων. Ο ορείχαλκος έχει μεγαλύτερο συντελεστή γραμμικής διαστολής και έτσι διαστέλλεται περισσότερο από το κράμα σιδήρου-νικελίου όταν συμβαίνει η ίδια μεταβολή θερμοκρασίας.

Τα διμεταλλικά ελάσματα χρησιμοποιούνται σε θερμοστάτες και διμεταλλικά θερμόμετρα. Επίσης έχουν εφαρμογές σε ηλεκτρομηχανικά τμήματα, όπως τα φώτα στάσης των αυτοκινήτων που ανάβουν και σβήνουν περιοδικά και τα φώτα διαφημιστικών πινακίδων.

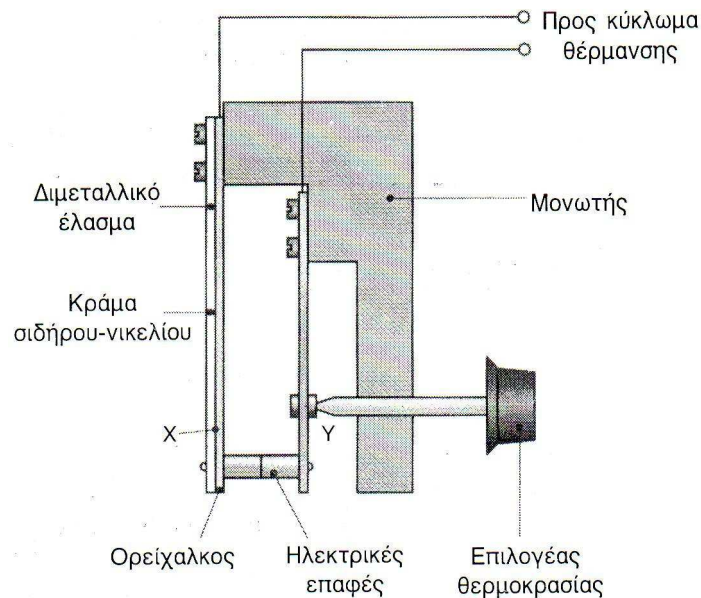
### Διμεταλλικός θερμοστάτης

Το διμεταλλικό έλασμα μπορεί να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε όταν θερμαίνεται, και επομένως κάμπτεται, ή όταν ψύχεται, και επομένως ευθυγραμμίζεται, να συνδέει ή να αποσυνδέει κάποιους ακροδέκτες ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Οι θερμοστάτες (thermostats) εκμεταλλεύονται το φαινόμενο αυτό για να ελέγχουν τη θερμότητα που παράγει ένα τέτοιο σύστημα θέρμανσης.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένας θερμοστάτης που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε ένα σπίτι. Το κύκλωμα θέρμανσης συνδέεται με το διμεταλλικό έλασμα X και το μεταλλικό έλασμα Y. Στη θέση που εικονίζεται οι επαφές είναι κλειστές και το ηλεκτρικό κύκλωμα ενεργοποιεί το σύστημα θέρμανσης. Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία και ξεπερνά την επιθυμητή τιμή, το διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται, και έτσι οι επαφές ανοίγουν, οπότε το σύστημα απενεργοποιείται. Όταν πέσει η θερμοκρασία και οι επαφές ξανακλείσουν, κλείνει το κύκλωμα που ενεργοποιεί το σύστημα θέρμανσης.

Η ρύθμιση μίας βίδας με την βοήθεια ενός περιστροφικού επιλογέα θερμοκρασίας ελέγχει το σημείο, επομένως και την θερμοκρασία στην οποία ανοίγουν οι επαφές. Η βίδα πιέζει ένα μονωτικό στρώμα που βρίσκεται σε επαφή με το μεταλλικό έλασμα Y. Εάν αυτό κινηθεί προς τα αριστερά, περιστρέφοντας τον επιλογέα θερμοκρασίας,

τότε το διμεταλλικό έλασμα X θα πρέπει να καμφθεί περισσότερο από όσο προηγουμένως για να ανοίξει η επαφή. Εάν ο επιλογέας περιστραφεί έτσι ώστε το μεταλλικό έλασμα Y να κινηθεί προς τα δεξιά, τότε απαιτείται μικρότερη κάμψη του διμεταλλικού ελάσματος X για να ανοίξει το κύκλωμα θέρμανσης, που σημαίνει ότι επιλέγεται χαμηλότερη θερμοκρασία δωματίου.

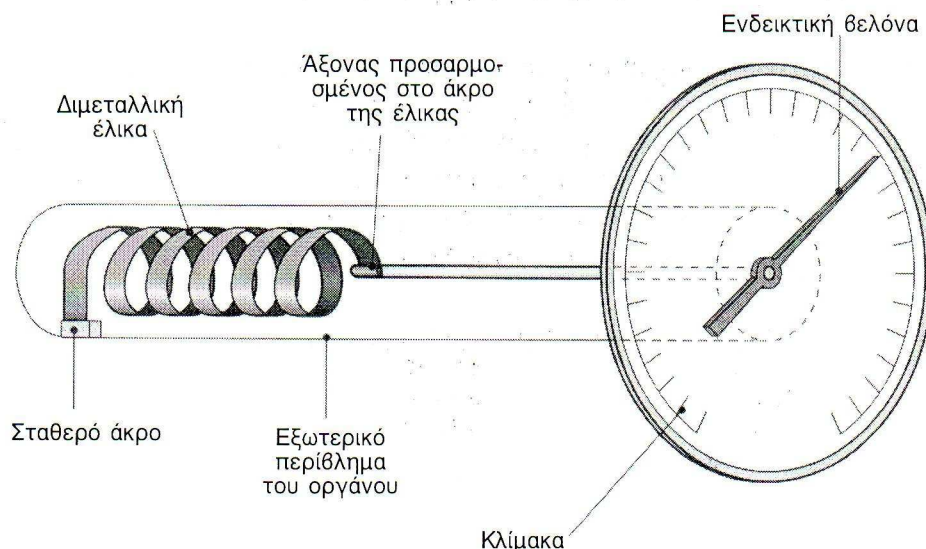


Σχήμα : Θερμοστάτης

Πέρα από τον έλεγχο της οικιακής θερμοκρασίας, άλλες τυπικές εφαρμογές του θερμοστάτη είναι στα ηλεκτρικά σίδηρα, τους θερμοσίφωνες, τους φούρνους, τα ενυδρεία κ.α.

### Διμεταλλικό θερμόμετρο

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένα τυπικό διμεταλλικό θερμόμετρο (bimetallic thermometer).



### Σχήμα : Διμεταλλικό θερμόμετρο

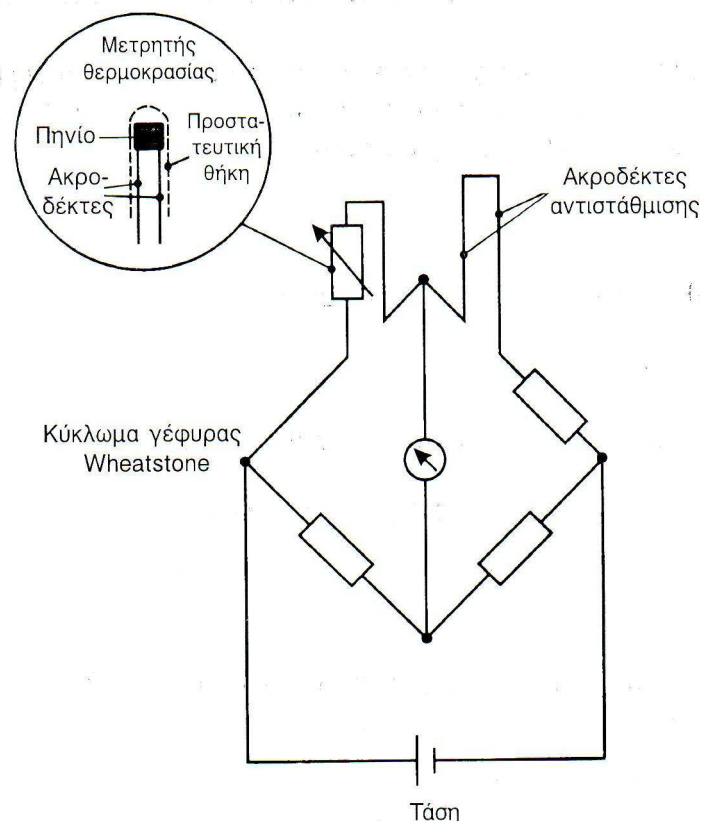
Σε αυτό ένα διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται σε ελικοειδή μορφή για να υπάρχει αυξημένη ευαισθησία. Η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί συστολή του ενός άκρου του ελάσματος ως προς το άλλο άκρο. Στο ελεύθερο άκρο του ελάσματος συνδέεται ένας άξονας και έτσι η περιστροφή του άκρου μεταφέρεται σε μία ενδεικτική βελόνα, η οποία μπορεί να κινείται επάνω σε μία βαθμονομημένη κλίμακα.

Το διμεταλλικό θερμόμετρο χρησιμοποιείται σε φούρνους, σωληνώσεις ζεστού νερού ή ατμού. Είναι συμπαγές, ευκίνητο, σχετικά φθινό και έχει ωφέλιμο θερμοκρασιακό εύρος από περίπου  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$  με καλή ακρίβεια.

## 6.4 Ηλεκτρική αντίσταση

### Θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης (electrical resistance thermometer) χρησιμοποιούν τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου και την θερμοκρασία του. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τυπική μορφή ενός τέτοιου θερμομέτρου.



Σχήμα : Θερμόμετρο ηλεκτρικής αντίστασης

Στα περισσότερα μέταλλα η αντίσταση αυξάνει με τη θερμοκρασία. Η σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και την θερμοκρασία είναι, σε κάποιο περιορισμένο εύρος, σχεδόν γραμμική και δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

- $R_0$  είναι η αντίσταση του αγωγού σε θερμοκρασία  $0^\circ\text{C}$  (σε  $\Omega$ )
- $R_t$  είναι η αντίσταση του αγωγού σε θερμοκρασία  $t^\circ\text{C}$  (σε  $\Omega$ )
- $\alpha$  είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής της αντίστασης, σε  $^\circ\text{C}^{-1}$  ανάλογα το υλικό κατασκευής της.

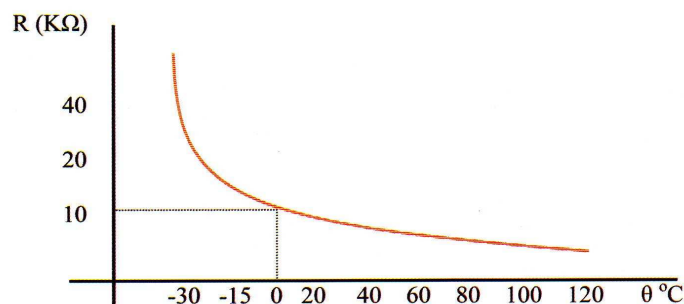
Σχηματίζουμε ένα πηνίο τυλίγοντας μεταλλικό σύρμα γύρω από ένα κεραμικό σωλήνα, το επικαλύπτουμε με κεραμικό και το τοποθετούμε σε μία προστατευτική θήκη. Τα άκρα του πηνίου συνδέονται στον ένα βραχίονα μίας γέφυρας Wheatstone και στη συνέχεια ο αυτός ο μετρητής τοποθετείται στο χώρο, του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία. Μετά από λίγα δευτερόλεπτα η θερμοκρασία του χώρου εμφανίζεται στο αμπερόμετρο. Η αντίσταση των ακροδεκτών που συνδέουν το πηνίο με την γέφυρα Wheatstone επηρεάζεται επίσης από την θερμοκρασία με αποτέλεσμα να εισάγονται σφάλματα κατά την μέτρηση. Για να αντισταθμιστούν αυτά συνδέονται ακροδέκτες αντιστάθμισης σε κάποιον άλλο βραχίονα της γέφυρας όπως εικονίζεται στο σχήμα. Η ανισορροπία της γέφυρας είναι ανάλογη της μεταβολής της αντίστασης του μετρητή, και επομένως η οθόνη του οργάνου μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες θερμοκρασίας.

Σήμερα στα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιείται συνήθως ο λευκόχρυσος. Αν και είναι ακριβός έχει το πλεονέκτημα ότι συχνά αποτελεί υλικό αναφοράς για την θέσπιση διεθνών προτύπων. Η σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και τη θερμοκρασία είναι στο λευκόχρυσο γραμμική σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Το υλικό έχει επίσης υψηλό σημείο τήξης και επομένως είναι ιδανικό για μέτρηση υψηλών θερμοκρασιών.

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης είναι ακριβή αλλά έχουν βραδεία απόκριση, είναι εν γένει μεγάλου σχήματος, εύθραυστα και έχουν υψηλό κόστος.

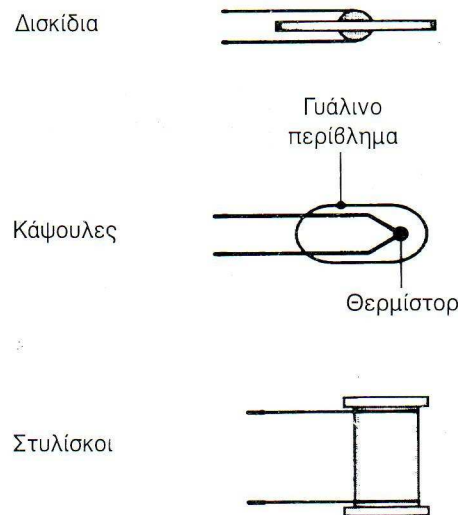
## Θερμίστορ

Το μεταλλικό σύρμα που τυλίγεται και σχηματίζει το πηνίο στα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης έχει το μειονέκτημα ότι οι μεταβολές της αντίστασης που δημιουργεί είναι μικρές, της τάξης των  $5\text{ m}\Omega$  ανά βαθμό Κελσίου. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα έχουν κατασκευαστεί θερμόμετρα ημιαγωγών, τα οποία ονομάζονται θερμίστορ (thermistors). Τα θερμίστορ χρησιμοποιούν την ίδια αρχή λειτουργίας με τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την αλλαγή της αντίστασης με την θερμοκρασία. Αντί για μέταλλα όμως τα θερμίστορ είναι ημιαγωγοί. Οι ημιαγωγοί εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες αλλαγές αντίστασης για δεδομένες μεταβολές θερμοκρασίας. Σε αντίθεση με τις μεταλλικές αντιστάσεις, η τιμή των οποίων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, η αντίσταση ενός θερμίστορ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα :



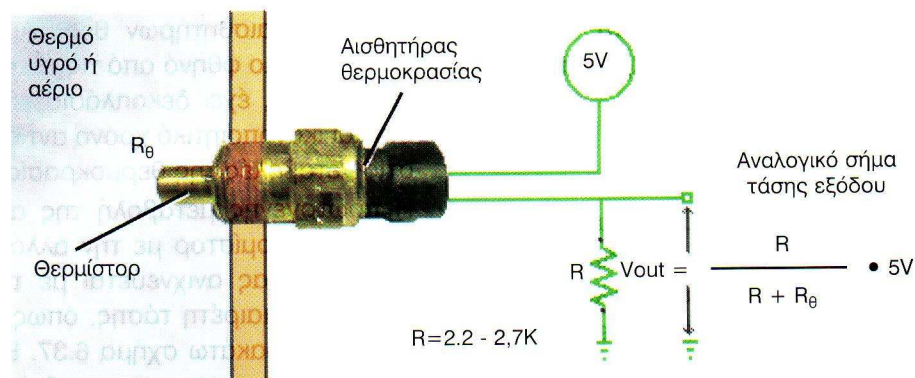
## Σχήμα : Χαρακτηριστική καμπύλη αντίστασης θερμίστορ

Έτσι λέμε ότι το θερμίστορ έχει αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας, που οφείλεται στα κεραμικά ημιαγωγά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένο. Τα θερμίστορ διατίθενται σε πολλές μορφές, όπως δισκίδια, κάψουλες και στυλίσκοι. Κατασκευάζονται από κοβάλτιο, μαγγάνιο και νικέλιο με καθαρή σκόνη χαλκού.



Σχήμα : Διάφορες μορφές θερμίστορ

Η πρωτογενής μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με την αλλαγή της θερμοκρασίας ανιχνεύεται με την βοήθεια ενός διαιρέτη τάσης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Είναι όμως δυνατό να χρησιμοποιηθεί και κύκλωμα γέφυρας Wheatstone. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα δευτερογενές σήμα τάσης, που είναι ανάλογο της θερμοκρασίας.

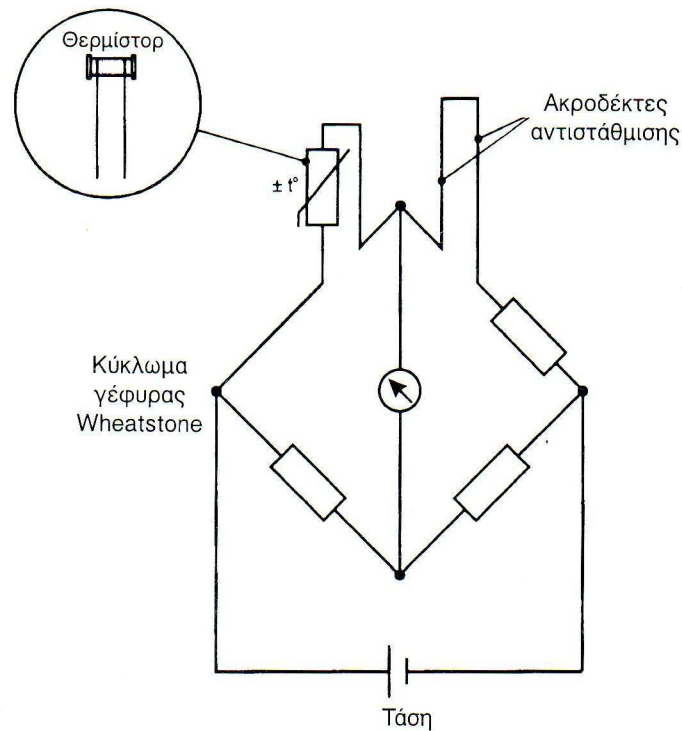


Σχήμα : Αισθητήρας θερμίστορ σε συνδυασμό με διαιρέτη τάσης

Ο αισθητήρας θερμίστορ εισάγεται συνήθως μέσα στο υγρό ή το αέριο τη θερμοκρασία του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Το μεταλλικό του περίβλημα τον προστατεύει από διάφορες ανεπιθύμητες επιδράσεις του περιβάλλοντος. Ο διαιρέτης τάσης τροφοδοτείται με σταθερό δυναμικό και με την μεταβολή της θερμοκρασίας ο ενεργός αυτός αισθητήρας επαφής παράγει ένα αναλογικό σήμα τάσης.

Στην περίπτωση που το θερμίστορ συνδεθεί σε ένα βραχίονα μίας γέφυρας Wheatstone το θερμίστορ θερμαίνεται επειδή διαρρέεται από ρεύμα, και έτσι προκαλείται ολίσθηση (drift), δηλαδή αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του. Το

φαινόμενο αυτό λέγεται αυτοθέρμανση (self-heating) και αντισταθμίζεται με την βοήθεια ενός δευτέρου θερμίστορ, το οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία.



Σχήμα : Θερμίστορ σε μία γέφυρα Wheatstone

Τα θερμίστορ μπορούν να έχουν πολύ μικρό μέγεθος και παρόλα αυτά να έχουν υψηλή αντίσταση, και εμφανίζουν ταχεία απόκριση στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Το θερμοκρασιακό του εύρος εκτείνεται συνήθως από  $-100^{\circ}\text{C}$  έως  $+300^{\circ}\text{C}$ . Έχουν καλή επαναληψιμότητα και υψηλή διακριτική ικανότητα σε μικρές περιοχές θερμοκρασιών και έτσι χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται επίσης για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν επάνω σε στερεά σώματα και να μετρούν την επιφανειακή τους θερμοκρασία.

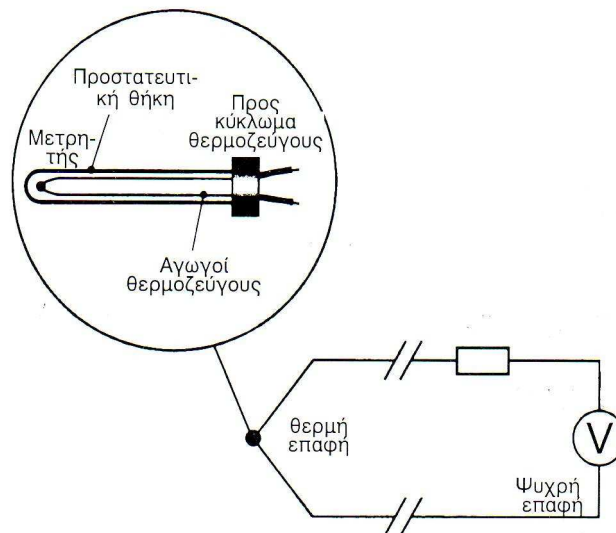
## 6.5 Θερμοηλεκτρισμός

Ο θερμοηλεκτρισμός είναι ένα φαινόμενο που σχετίζει τη θερμική ενέργεια με την ηλεκτρική ενέργεια. Κάτω από κάποιες συνθήκες η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμική και το αντίθετο. Εάν μπορεί να μετρηθεί η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας από κάποια μεταβολή της θερμικής ενέργειας, τότε μπορεί να προσδιοριστεί η θερμοκρασία της ουσίας που εξετάζεται.

Όταν ένα ζεύγος διαφορετικών μετάλλων σχηματίζουν βρόχο και τα δύο σημεία σύνδεσης βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε θα υπάρξει ροή ρεύματος με τιμή ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Seebeck.

## Θερμοζεύγος

Ένα θερμοζεύγος (thermocouple) εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από δύο ανόμοια μέταλλα που συνδέονται μεταξύ τους σε δύο σημεία και σχηματίζουν ένα κλειστό κύκλωμα.



Σχήμα : Θερμοζεύγος

Η μία επαφή βρίσκεται σε μία προστατευτική θήκη και αποτελεί τον μετρητή του οργάνου, γιατί έρχεται σε επαφή με το σώμα άγνωστης θερμοκρασίας. Εάν η μία επαφή διατηρείται σε διαφορετική θερμοκρασία από την άλλη, τότε θα υπάρχει ροή ρεύματος στο κύκλωμα. Το μέγεθος και η κατεύθυνση αυτού εξαρτώνται από τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται και την διαφορά θερμοκρασίας των επαφών. Το μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) που προκύπτει είναι μικρό, της τάξεως των μερικών mV. Στο ψυχρό άκρο του κυκλώματος μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα βολτόμετρο, και να βαθμονομήσουμε κατάλληλα την κλίμακα του σε μονάδες θερμοκρασίας.

Τυπικά κράματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αγωγών των θερμοζευγών είναι το ρόδιο, κράματα νικελίου και χρωμίου, κράματα αλουμινίου και νικελίου και κράματα νικελίου και χαλκού. Τα ανόμοια μέταλλα που συνδυάζονται με αυτά περιλαμβάνουν το λευκόχρυσο, το χαλκό και το σίδηρο. Η προστατευτική επικάλυψη του μετρητή μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, για να παρέχει αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, για παράδειγμα σε φούρνους, κλιβάνους, ακόμη και σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Επίσης χρησιμοποιούνται στην ιατρική για την καταγραφή της εσωτερικής θερμοκρασίας του ασθενή κατά την διάρκεια εγχειρήσεων. Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται συχνά σε ομάδες, για να αυξάνεται η ευαισθησία τους και οι ομάδες αυτές ονομάζονται θερμοστοιχεία (thermopiles).

## 6.6 Ακτινοβολία θερμότητας

Όλα τα υλικά εκπέμπουν θερμότητα με μορφή ακτινοβολίας. Όταν η θερμοκρασία ενός υλικού ή σώματος είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή, βλέπουμε το υλικό να λάμπει. Αυτή η λάμψη είναι η θερμική ενέργεια, η οποία αποβάλλεται από το υλικό με την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Δεν μπορούμε πάντοτε να δούμε την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα, διότι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτίνες είναι πέρα από την εμβέλεια του ανθρώπινου οφθαλμού, για παράδειγμα όταν ανήκουν στην υπέρυθη περιοχή.

Όταν ανιχνεύουμε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είτε με τα μάτια, είτε με κάποιο όργανο, η ένταση της ακτινοβολίας σχετίζεται με την θερμοκρασία του σώματος που την εκπέμπει.

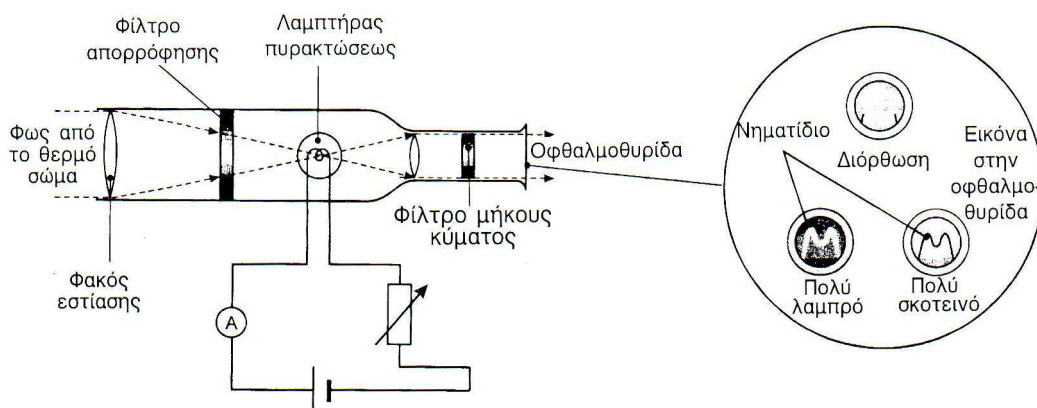
Ένα σώμα που απορροφά τελείως οποιαδήποτε ακτινοβολία ή φως που προσπίπτει σε αυτό ονομάζεται μέλαν σώμα ( *black body* ). Σώματα που να απορροφούν με τέτοιο ιδανικό τρόπο δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα, αλλά μόνο στη θεωρία. Το ποσό της ενέργειας που αποβάλλεται από την επιφάνεια ενός σώματος ονομάζεται συντελεστής εκπομπής ( *emissivity* ).

Ο συντελεστής εκπομπής είναι ίσος με το πηλίκο της ενέργειας που απορροφάται από μία δεδομένη επιφάνεια προς την ακτινοβολία που απορροφάται από ένα μέλαν σώμα που έχει την ίδια θερμοκρασία επιφανείας και βρίσκεται υπό τις ίδιες συνθήκες.

Εάν γνωρίζουμε το συντελεστή εκπομπής ενός υλικού, τότε μετρώντας την ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτό, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία του. Η ακτινοβολία μπορεί να προσδιορισθεί εξετάζοντας την ένταση ή το χρώμα του υλικού.

Οι συσκευές που μετρούν τη θερμοκρασία με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται πυρόμετρα ακτινοβολίας ( *radiation pyrometer* ) και ένα κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι δε χρειάζεται να είναι σε επαφή με το σώμα, του οποίου την θερμοκρασία μετρούν.

### Οπτικό πυρόμετρο νήματος



Σχήμα : Οπτικό πυρόμετρο νήματος

Το οπτικό πυρόμετρο νήματος ( *disappearing filament optical pyrometer* ) χρησιμοποιεί την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που μπορεί να δει το ανθρώπινο



μάτι για να μετρά τη θερμοκρασία. Επομένως το σώμα του οποίου την θερμοκρασία μετράμε πρέπει να είναι αρκετά θερμό ώστε να λάμπει ( $650^{\circ}\text{C}$ ). Το οπτικό πυρόμετρο νήματος συγκρίνει την ορατή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αποβάλλεται από ένα θερμό σώμα με το φως που εκπέμπεται από ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως. Ο λαμπτήρας είναι βαθμονομημένος, έτσι ώστε η λαμπρότητα του νηματιδίου του να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες.

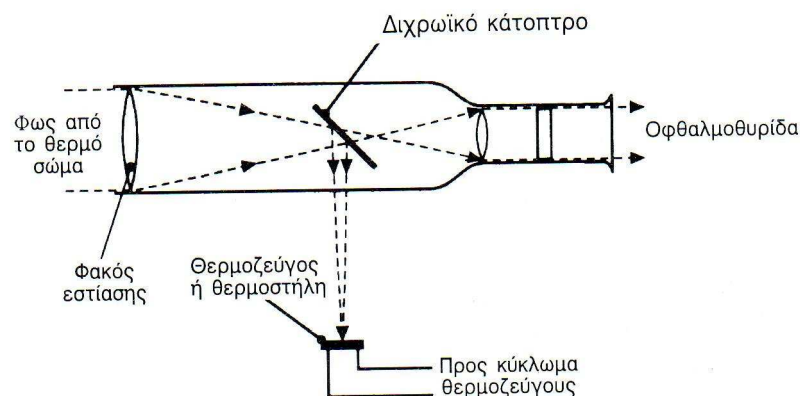
Στο παραπάνω σχήμα εικονίζεται ένα οπτικό πυρόμετρο νήματος. Έχει την μορφή τηλεσκοπίου, το οποίο στοχεύει προς το θερμό σώμα. Κοιτάζοντας μέσα από την οφθαλμοθυρίδα, ο χρήστης παρατηρεί ένα μικρό τμήμα του θερμού σώματος, και το νηματίδιο του λαμπτήρα να υπερτίθεται ( συγκρίνεται ) σε αυτό. Έτσι μπορεί να συγκρίνει την λαμπρότητα του σώματος με την λαμπρότητα του νηματιδίου, αφού τα βλέπει ταυτόχρονα.

Ρυθμίζοντας το ρεύμα που διαρρέει τον λαμπτήρα, ρυθμίζουμε την λαμπρότητα του νηματιδίου του. Ο χρήστης μεταβάλλει το ρεύμα, έως ότου το νηματίδιο πάψει φαίνεται. Αυτή η " εξαφάνιση " του νηματιδίου σημαίνει ότι το σώμα και το νηματίδιο βρίσκονται στην ίδια περίπου θερμοκρασία. Εάν το νηματίδιο φαίνεται σκοτεινό, σημαίνει ότι είναι λιγότερο θερμό από το σώμα που μετρείται. Εάν πάλι φαίνεται πιο φωτεινό, είναι πιο θερμό από αυτό. Η τιμή του ρεύματος, για την οποία το νηματίδιο εξαφανίζεται αποτελεί ένδειξη της θερμοκρασίας του θερμού σώματος.

Ένα φίλτρο απορρόφησης επιτρέπει τη συσκευή να μετρά θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές του νηματιδίου του λαμπτήρα. Ένα φίλτρο μήκους κύματος διασφαλίζει ότι η λαμπρότητα του σώματος και του νηματιδίου συγκρίνονται σε ένα μήκος κύματος μόνο.

Τα οπτικά πυρόμετρα χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές, όπως είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας λιωμένων μετάλλων, φούρνων και εφαρμογών θερμικής επεξεργασίας.

### Πυρόμετρο υπερύθρου



Σχήμα : Πυρόμετρο υπερύθρου

Τα πυρόμετρα υπερύθρου ( infra-red pyrometer) επιτρέπουν την μέτρηση θερμοκρασίας από απόσταση. Χρησιμοποιούν την υπέρυθη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα και μετρούν την ένταση της με την βοήθεια μίας συσκευής, όπως το θερμοζεύγος.

Στο παραπάνω σχήμα εικονίζεται ένα πυρόμετρο υπερύθρου. Ο χρήστης εστιάζει το τηλεσκοπικό τμήμα επάνω στο θερμό σώμα. Ένα διχρωϊκό κάτοπτρο ανακλά ένα

συγκεκριμένο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως π.χ. το υπέρυθρο τμήμα, αλλά επιτρέπει τα υπόλοιπα να διέρχονται και έτσι μπορεί ο χρήστης να εστιάσει. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που έχει ανακλαστεί από το κάτοπτρο προσπίπτει στο θερμοζεύγος. Η έξοδος αυτού είναι μία τάση, η οποία βαθμονομείται σε μονάδες θερμοκρασίας.

Τα υπέρυθρα πυρόμετρα μπορούν να μετρήσουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών από ότι τα οπτικά πυρόμετρα. Αυτό γίνεται επειδή μπορούν να ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δεν είναι ορατή από το ανθρώπινο μάτι. Το κύκλωμα του θερμοζεύγους επιτρέπει την ανάγνωση από απόσταση αλλά προσθέτει στο σύστημα τις ανακρίβειες και τα σφάλματα που εμφανίζουν τα θερμοζεύγη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### **7.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ**

Θεωρώντας ότι ένα ρευστό ρέει στρωτά σε ένα κυλινδρικό σωλήνα και ότι δεν υπάρχει αέρας στο σωλήνα, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε τη ροή με βάση τον όγκο, τη μάζα ή την ταχύτητα του ρευστού.

Ο ογκομετρικός ρυθμός ροής ισούται με το ποσό του ρευστού που περνά από ένα σημείο, σε κάποιο καθορισμένο χρόνο και εκφράζεται, για παράδειγμα σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο. Με όμοιο τρόπο, ο ρυθμός ροής της μάζας ή του βάρους ενός ρευστού ισούται με τη μάζα ή το βάρος του ρευστού που περνά από ένα σημείο, σε κάποιο καθορισμένο χρόνο και εκφράζεται, για παράδειγμα, σε χιλιόγραμμα ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα του ρευστού ισούται με την απόσταση που διανύει το ρευστό σε κάποιο προκαθορισμένο χρόνο, και μετριέται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Εάν έχουμε αρκετές πληροφορίες, μπορούμε να προσδιορίσουμε μία από τις παραπάνω παραμέτρους μέσω κάποιας άλλης.

Παρότι υπάρχουν και άλλες μέθοδοι, υπάρχουν τέσσερις βασικές τεχνικές για την μέτρηση του ογκομετρικού ρυθμού ροής:

- ο μετρητής ελικοειδούς κοχλία
- ο μετρητής περιστρεφόμενων λοβών
- ο μετρητής στροβίλου
- ο μετρητής υδροτροχού

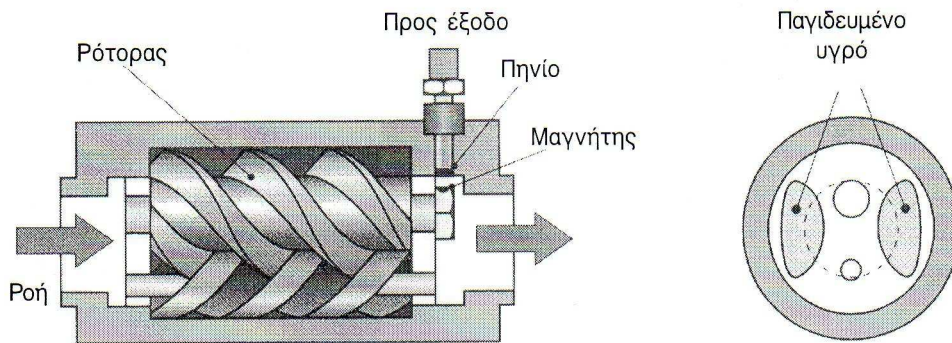
Οι τεχνικές αυτές μπορούν να καταγράφουν την ταχύτητα, καθώς και της ποσότητα ρευστού. Επειδή βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το ρευστό, εμποδίζουν εν μέρει τη ροή. Η ακρίβεια τους εξαρτάται την ελαχιστοποίηση αυτής της επίδρασης, η οποία επιτυγχάνεται κατασκευάζοντας τις συσκευές από ελαφρά υλικά, ώστε να περιστρέφονται ελεύθερα. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε δύο από τους μετρητές για την μέτρηση του ογκομετρικού ρυθμού ροής, του μετρητή ελικοειδούς κοχλία και του μετρητή στροβίλου, καθώς ο μετρητής περιστρεφόμενων λοβών ακολουθεί την ίδια αρχή λειτουργίας με τον μετρητή ελικοειδή κοχλία αφού είναι και αυτός ένας μετρητής θετικής μετατόπισης.

Η αρχή λειτουργίας των μετρητών θετικής μετατόπισης είναι η διαίρεση της ροής του ρευστού σε γνωστές ποσότητες (ίσες με τον όγκο ενός θαλάμου) και στη συνέχεια η πρόσθεση αυτών των ποσοτήτων για τον προσδιορισμό της συνολικής ποσότητας που έχει περάσει στη μονάδα του χρόνου.

## Μετρητής ελικοειδούς κοχλία

Οι μετρητές ελικοειδούς κοχλία (helical screw meters) είναι μετρητές θετικής μετατόπισης που σημαίνει ότι το ρευστό ρέει σε θαλάμους γνωστού όγκου και αναγκάζει τον κοχλία να κινηθεί.

Μια τυπική μορφή τέτοιου μετρητή εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Ο μετρητής συνδέεται στο εσωτερικό ενός σωλήνα και η ροή του υγρού μέσα στο σωλήνα αναγκάζει το ειδικά σχεδιασμένο περιστρεφόμενο μέρος του μετρητή (το ρότορα) να περιστραφεί.



Σχήμα : Μετρητής ελικοειδούς κοχλία

Καθώς το υγρό ρέει μέσα από τον μετρητή, χωρίζεται σε ποσότητες, καθώς γεμίζει τις ειδικές θήκες που σχηματίζονται από το ελικοειδές σχήμα.

Στον άξονα του ρότορα έχει προσαρμοστεί ένας μαγνήτης και δίπλα του έχει στερεωθεί στο τοίχωμα του σωλήνα ένα πηνίο. Καθώς ο ρότορας περιστρέφεται, περιστρέφεται και ο μαγνήτης και περνά περιοδικά δίπλα από το ακίνητο πηνίο, οπότε παράγει περιοδικά παλμούς τάσης. Οι παλμοί αυτοί απαριθμούνται και καθώς η ποσότητα του υγρού που προκαλεί μία πλήρη περιστροφή είναι γνωστή, ο συνολικός αριθμός των παλμών επιτρέπει τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας υγρού που έχει περάσει από τον μετρητή.

Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπτικές τεχνικές αντί για ηλεκτρομαγνητικές για την ανίχνευση της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα. Στην περίπτωση αυτή το φως ανακλάται ή διακόπτεται περιοδικά. Ο ρυθμός των παλμών φωτός που ανακλώνται ή διακόπτονται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας περιστροφής και επομένως για την μέτρηση του όγκου και της ταχύτητας του υγρού.

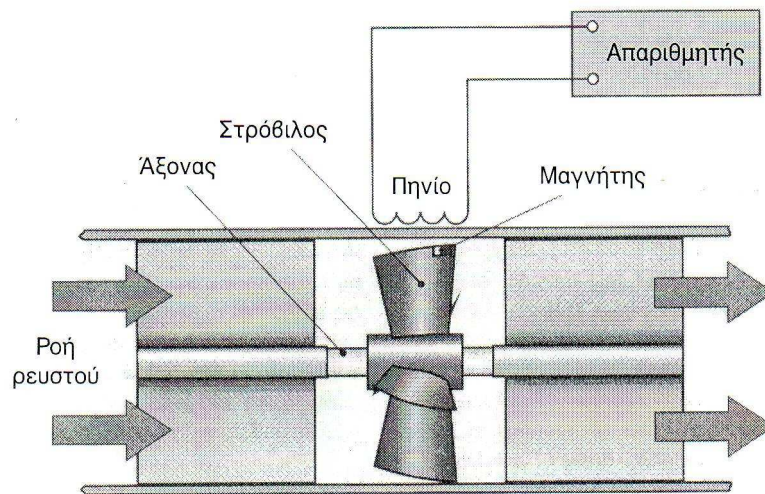
Οι μετρητές τέτοιου είδους προκαλούν σημαντική πτώση της πίεσης του υγρού και είναι σχετικά ακριβοί, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές περιπτώσεις.

## Μετρητής στροβίλου

Οι μετρητές στροβίλου (turbine meters) χρησιμοποιούνται για να μετρούν τον ογκομετρικό ρυθμό και την ταχύτητα της ροής του ρευστού.

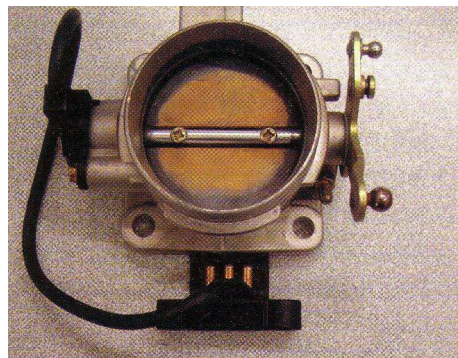
Σε ένα τυπικό μετρητή στροβίλου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η ροή του ρευστού αναγκάζει ένα στρόβιλο να περιστραφεί. Η ταχύτητα της περιστροφής είναι ανάλογη της ταχύτητας του ρευστού. Αυτή υπολογίζεται εάν προσαρμόσουμε ένα

μικρό μόνιμο μαγνήτη στην άκρη ενός ή περισσοτέρων πτερυγίων και τοποθετήσουμε ένα πηνίο στο τοίχωμα του σωλήνα ροής.



Σχήμα : Μετρητής στροβίλου

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οπτικές μεθόδους, όπως περιγράφηκε πριν στον μετρητή ελικοειδούς κοχλία.



Σχήμα : Αισθητήρας ροής μάζας αέρα με πτερύγιο

Οι μετρητές στροβίλου προκαλούν κάποια πτώση πίεσης και είναι ακριβοί, αλλά είναι επίσης ευαίσθητοι και πολύ ακριβείς. Η ακρίβεια τους εξαρτάται από το πόσο εύκολα περιστρέφονται τα πτερύγια. Όταν ο ρυθμός ροής είναι μικρός, ο μετρητής στροβίλου ενδέχεται να μην αποκρίνεται σωστά και στις προδιαγραφές του αναφέρεται η ελάχιστη ροή που χρειάζεται για να υπάρχει σωστή λειτουργία.

## 7.2 Μέτρηση της ταχύτητας

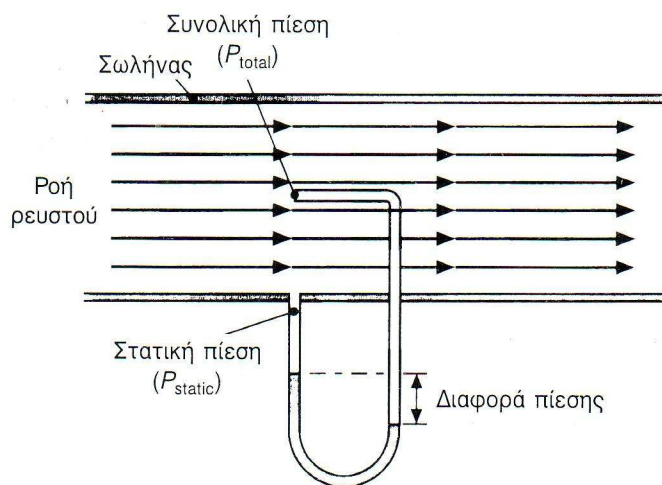
Η παρακάτω μετρητές επιτρέπουν τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο ενός σωλήνα.

- Σωλήνας Pitot
- Ανεμόμετρο θερμού σύρματος
- Μετρητής ροής μεταβλητής διατομής

## Σωλήνας Pitot

Ο σωλήνας Pitot (Pitot static tube) ονομάστηκε έτσι προς τιμή του εφευρέτη του, Henri Pitot, και αποτελείται από ένα σωλήνα που τοποθετείται στο εσωτερικό ενός σωλήνα ροής, όπου ρέει ένα ρευστό. Χρησιμοποιεί μετρητές πίεσης, οι οποίοι αναγράφουν τη συνολική πίεση και τη στατική πίεση, και μετρά από αυτές την ταχύτητα του ρευστού. Η στατική πίεση είναι η πίεση σε ένα κινούμενο ρευστό που δεν επηρεάζεται από την κίνηση του ρευστού.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται η μορφή του σωλήνα Pitot. Ο μετρητής της συνολικής πίεσης τίθεται απέναντι στη ροή και μετρά τη συνολική πίεση που ασκεί αυτή. Ο ακροδέκτης στατικής πίεσης τοποθετείται στο τοίχωμα του σωλήνα ροής και το ανοικτό του άκρο ενώνεται με απόλυτα λείο τρόπο με το τοίχωμα, έτσι ώστε να μην διαταράσσει τη ροή.



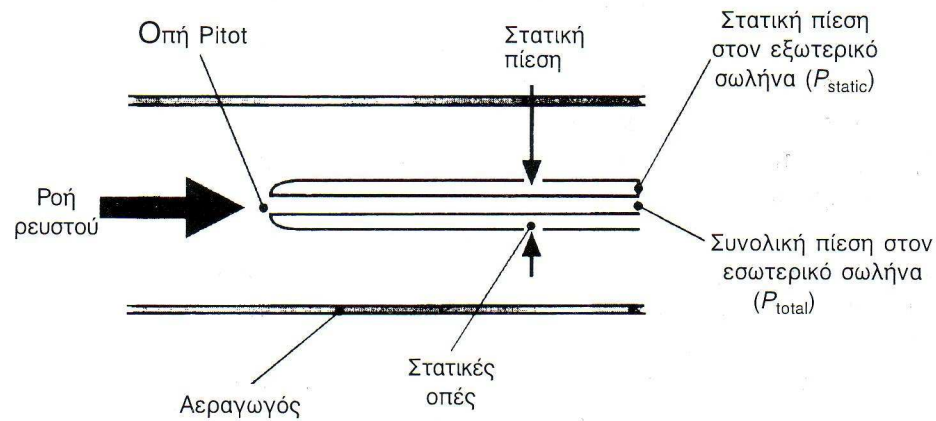
Σχήμα : Σωλήνας Pitot για την μέτρηση της ταχύτητας υγρού.

Η διαφορά πίεσης ανάμεσα στη συνολική και την στατική πίεση μπορεί να μετρηθεί με την βοήθεια ενός υοειδούς μανομέτρου, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες τεχνικές, όπως τα πιεζόμετρα. Μετριέται η διαφορά των δύο πιέσεων και η ταχύτητα του ρευστού προκύπτει από τη σχέση :

$$v = \sqrt{\frac{2(P_{\text{total}} - P_{\text{static}})}{\rho}}$$

- Όπου  $P_{\text{total}}$  είναι η συνολική πίεση
- Όπου  $P_{\text{static}}$  είναι η στατική πίεση
- Όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού

Ο σωλήνας Pitot μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της ταχύτητας ροής υγρών αλλά και αερίων. Στην περίπτωση της μέτρησης της ταχύτητας στα αέρια ο σωλήνας Pitot έχει διαφορετική μορφή από αυτή που αναφέραμε για τα υγρά, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



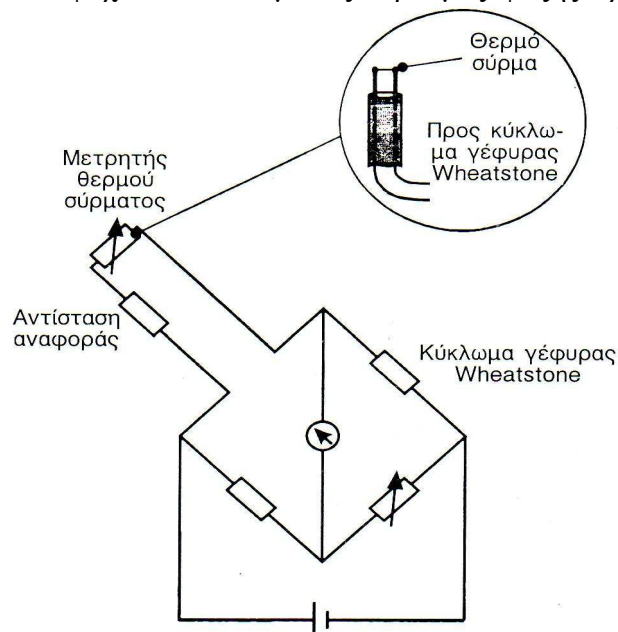
Σχήμα : Σωλήνας Pitot για την μέτρηση της ταχύτητας του αέρα

Μπορεί να μετρά χαμηλές αλλά και υπερηχητικές ταχύτητες, μια γνωστή εφαρμογή του σωλήνα Pitot είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας στα αεροσκάφη, όπου διαβιβάζει τη διαφορά πίεσης, σε ένα σωλήνα Bourbon, ο οποίος είναι βαθμονομημένος σε μονάδες ταχύτητας.

### Ανεμόμετρο θερμού σύρματος

Το ανεμόμετρο θερμού σύρματος (hot-wire anemometer), χρησιμοποιείται μόνο για την μέτρηση της ταχύτητας αερίων.

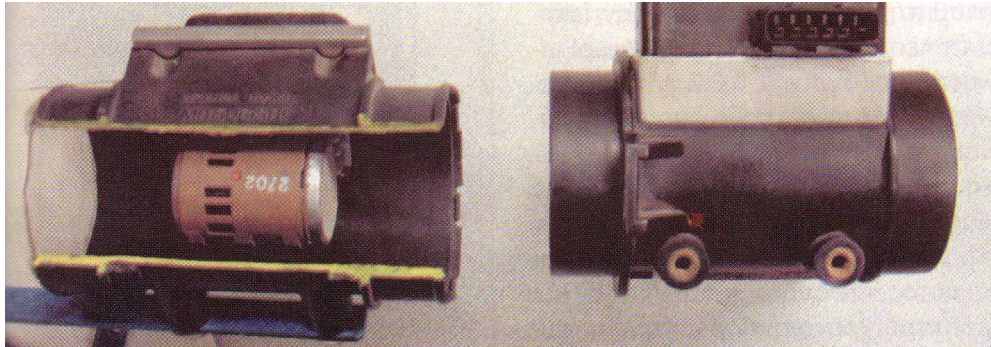
Ένας μετρητής που θερμαίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος αποτελεί τμήμα μίας γέφυρας Wheatstone, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το ανεμόμετρο θερμού σύρματος στηρίζεται στην αρχή ότι, όταν γύρω από ένα θερμό σώμα ρέει ένα αέριο, το θερμό σώμα θα ψυχθεί, και επομένως ο ρυθμός ψύξης σχετίζεται με την ταχύτητα του αερίου.



Σχήμα : Ανεμόμετρο θερμού σύρματος

Με αυτή τη βάση, εάν εφαρμοστεί ένα σταθερό ρεύμα στο σύρμα, τότε η ψύξη θα προκαλέσει αλλαγή της αντίστασης του και επομένως αλλαγή της τάσης στα άκρα του (επειδή η τάση ισούται με το ρεύμα επί την αντίσταση). Μετρώντας την αλλαγή τάσης με το κύκλωμα γέφυρας Wheatstone μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του αερίου.

Με άλλο τρόπο, εάν ρυθμίσουμε το ρεύμα ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του σύρματος, τότε η τιμή του ρεύματος θα σχετίζεται με την ταχύτητα του αερίου.



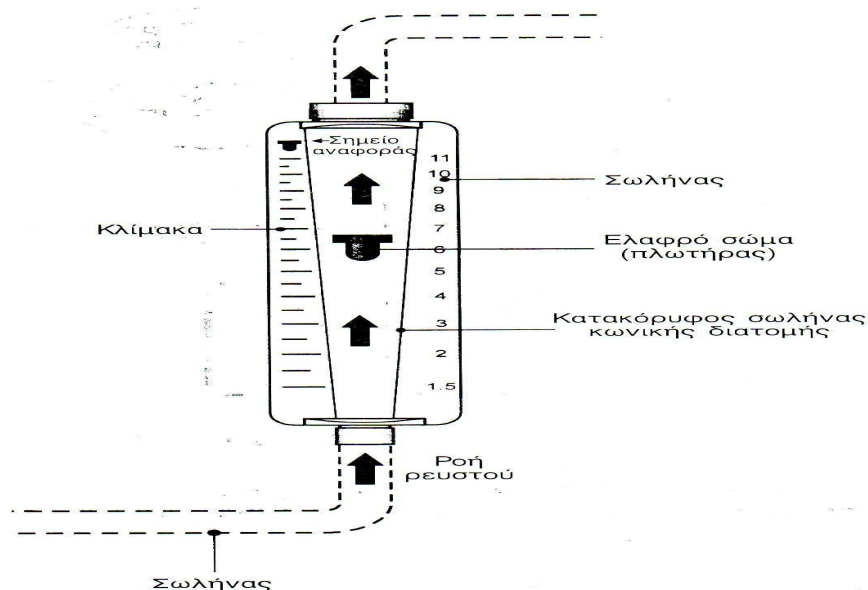
Σχήμα : Αισθητήρες ροής μάζας αέρα με θερμό νήμα

Τα ανεμόμετρα θερμού σύρματος περιέχουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες βαθμονόμησης τους με την μορφή γραφικών παραστάσεων, έτσι ώστε η ταχύτητα του αερίου να μπορεί να υπολογιστεί από τις τιμές τάσης ή ρεύματος.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν μεγάλο εύρος ταχυτήτων, από πολύ μικρές έως υπερηχητικές.

### Μετρητής ροής μεταβλητής διατομής

Η τυπική μορφή ενός μετρητή ροής μεταβλητής διατομής (variable area flow meter), εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από ένα σωλήνα κωνικής διατομής που στο εσωτερικό του περιέχει ένα ελαφρό σώμα (πλωτήρας). Ο μετρητής συνδέεται σε κατακόρυφη θέση στο σωλήνα ροής που περιέχει το ρευστό προς μέτρηση.



Σχήμα : Μετρητής ροής μεταβλητής διατομής

Το ρευστό ρέει από κάτω προς τα επάνω στο μετρητή και έτσι δημιουργείται μία διαφορά πίεσης που ασκεί μία δύναμη προς τα επάνω στον πλωτήρα και τον αναγκάζει να αιωρηθεί. Για να διατηρείται ο πλωτήρας στο κέντρο του κωνικού σωλήνα, μπορεί να έχει πτερύγια ώστε να περιστρέφεται ή να τον διαπερνά μία κατακόρυφη ράβδος, στερεωμένη στον άξονα συμμετρίας του κωνικού σωλήνα. Όταν η ροή είναι σταθερή, ο πλωτήρας παραμένει σε κάποιο σταθερό ύψος όταν η δύναμη προς τα επάνω ισούται με το βάρος του. Το ύψος του πλωτήρα στον κωνικό σωλήνα είναι ανάλογο του ρυθμού της ροής και έτσι ο πλωτήρας διαβάζεται από μία κατάλληλα βαθμονομημένη κλίμακα στο τοίχωμα του κωνικού σωλήνα.

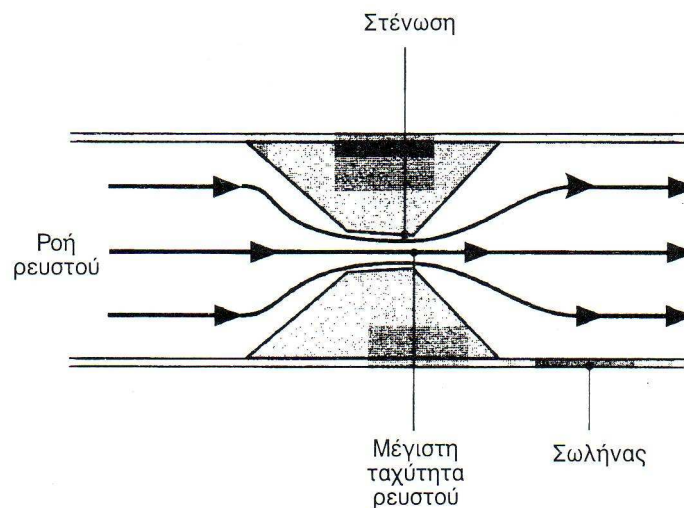
Οι μετρητές μεταβλητής διατομής χρησιμοποιούνται για να μετρούν τη ροή υγρών αλλά και αερίων. Υπάρχουν διάφορες μορφές κωνικών σωλήνων και πλωτήρων, ανάλογα με το είδος του ρευστού και την περιοχή των ταχυτήτων που πρέπει να μετρηθούν.

Οι μετρητές τέτοιου είδους απαιτούν μικρή συντήρηση, αλλά η ακρίβεια τους μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από τις μεταβολές θερμοκρασίας του ρευστού που μετρούν, επιπλέον η ικανότητα του χρήστη να διαβάσει σωστά την μέτρηση εισάγει ανακρίβεια, ειδικά όταν η ροή του ρευστού δεν παραμένει σταθερή.

### 7.3 Συσκευές φαινομένου στένωσης

Πολλά είδη συσκευών που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ταχύτητας ή του ογκομετρικού ρυθμού ροής ενός ρευστού στηρίζονται στο φαινόμενο στένωσης (constriction effect).

Όταν σε ένα σωλήνα ροής υπάρχει μία στένωση, η ταχύτητα ροής του ρευστού αυξάνει. Η μέγιστη ταχύτητα ροής προκύπτει στο σημείο της μεγαλύτερης στένωσης, δηλαδή της μικρότερης διατομής.



Σχήμα : Φαινόμενο στένωσης

Καθώς αυξάνει η ταχύτητα του ρευστού στο σωλήνα, η πίεση στο σημείο εκείνο μειώνεται. Θεωρώντας ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο, η διαφορά πίεσης πριν από την στένωση και ακριβώς στη στένωση εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- Την αρχική ταχύτητα του ρευστού
- Το εμβαδόν διατομής του σωλήνα πριν από τη στένωση
- Το εμβαδόν διατομής του σωλήνα ακριβώς στη στένωση



Εάν γνωρίζουμε τις διαστάσεις του σωλήνα πριν από την στένωση και ακριβώς στη στένωση, και αν μετρήσουμε τη διαφορά πίεσης, μπορούμε τότε να υπολογίσουμε την ταχύτητα και τον ογκομετρικό ρυθμό ροής.

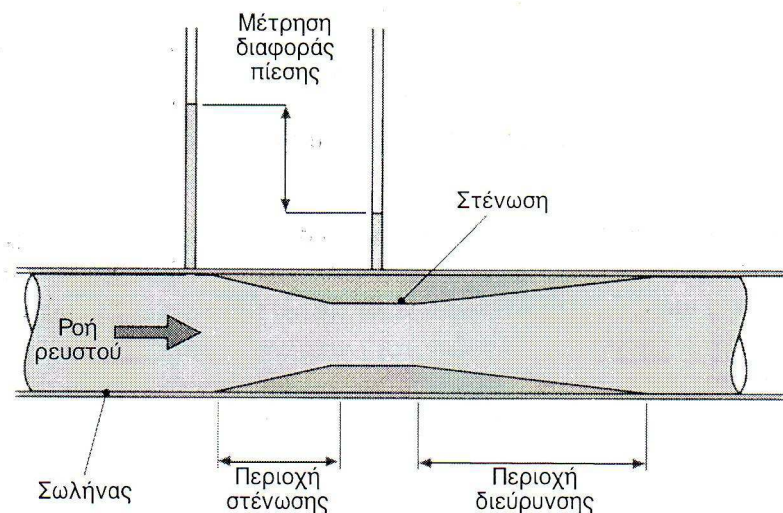
Υπάρχουν πολλές μορφές μετρητών ροής στένωσης, όταν υπάρχει ροή σε αγωγούς οι πιο συνηθισμένες και απλές μέθοδοι μέτρησης ροής είναι:

- Ο σωλήνας Venturi
- Η μέθοδος κάθετου στομίου εκροής
- Η μέθοδος ακροφυσίου
- Το ακροφύσιο Venturi

## Σωλήνας Venturi

Ο σωλήνας Venturi ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του Giovanni Battista Venturi, ο οποίος εκτέλεσε πειράματα ροής χρησιμοποιώντας κωνικούς σωλήνες.

Η τυπική μορφή του σωλήνα Venturi εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτός αποτελείται από ένα σωλήνα που εμφανίζει στένωση κωνικού σχήματος, κατά μήκος της οποίας το ρευστό επιταχύνεται, και στη συνέχεια εμφανίζει ομαλή διεύρυνση προς την αρχική διατομή.



Σχήμα : Σωλήνας Venturi

Καθώς αυξάνει η ταχύτητα από το σημείο εισόδου προς τη στένωση, παρατηρείται πτώση της πίεσης. Το μέγεθος αυτής της πτώσης εξαρτάται από το ρυθμό ροής. Τότε ο ρυθμός ροής μπορεί να υπολογιστεί, από τη διαφορά των πιέσεων, όπως προκύπτει αυτή από μανόμετρα, πιεζόμετρα ή άλλους μετρητές πίεσης, που τοποθετούνται στο σημείο της στένωσης και πριν από αυτό.

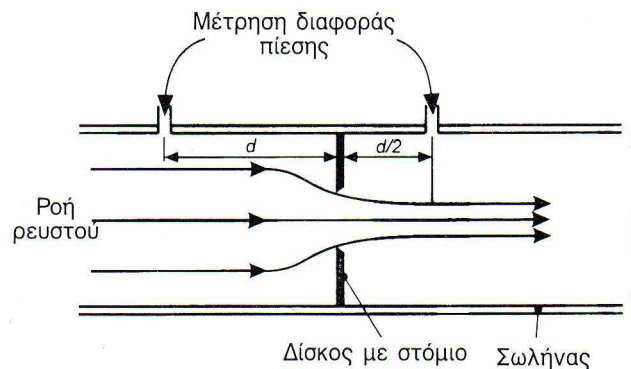
Η ταχύτητα της ροής είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της διαφοράς πίεσης και επομένως ένας ενδείκτης μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες ταχύτητας, ογκομετρικού ρυθμού ροής ή ρυθμού ροής μάζας.

Μπορεί να επιτευχθεί ανάγνωση από απόσταση, εάν χρησιμοποιηθούν αισθητήρες πίεσης που παρέχουν ηλεκτρική έξοδο. Τα δύο σήματα αφαιρούνται και προσδιορίζεται η τετραγωνική ρίζα του σήματος διαφοράς. Ύστερα διαβιβάζεται σε ένα καταγραφικό μηχάνημα ή δημιουργεί ένα σήμα ελέγχου.

Σε σύγκριση με τις μεθόδους με ακροφύσια και στόμια, οι σωλήνες Venturi είναι ακριβοί και απαιτούν περισσότερο χώρο στον αγωγό ροής. Εντούτοις, προκαλούν μικρότερη πτώση της πίεσης.

### Μετρητής με κάθετο στόμιο εκροής

Ένας μετρητής με κάθετο στόμιο εκροής (orifice plate meter), εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτός αποτελείται από ένα δίσκο που έχει ένα στόμιο στο κέντρο του και τοποθετείται κάθετα στη ροή. Το ρευστό εκρέει από το στόμιο ως ένα συγκλίνον ρεύμα, το οποίο εκτοξεύεται με μορφή πίδακα προς το άλλο άκρο σωλήνα. Η διαφορά πίεσης μετριέται σε ένα σημείο σε απόσταση  $d$  πριν από το δίσκο και σε ένα σημείο σε απόσταση  $d/2$  μετά από τον δίσκο. Όπου  $d$  είναι η διάμετρος του σωλήνα. Απαιτείται απόσταση  $d/2$  μετά το δίσκο, επειδή εκεί εμφανίζεται η μεγαλύτερη πίεση. Το σημείο αυτό ονομάζεται συμπιεσμένη φλέβα (vena contracta) και εκεί οι γραμμές ροής είναι παράλληλες.



Σχήμα : Μετρητής με κάθετο στόμιο εκροής

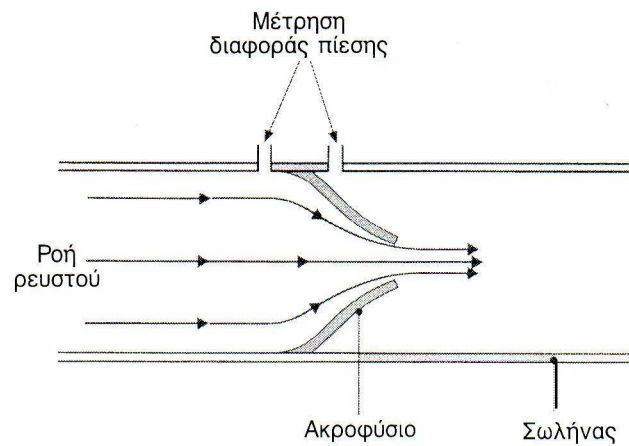
Ο ρυθμός ροής στη συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο σημείων μέτρησης.

Μπορούν να λαμβάνονται μετρήσεις άμεσες και μετρήσεις από απόσταση, με τον ίδιο τρόπο όπως στο σωλήνα Venturi. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της ροής σε υγρά και αέρια, αλλά η μέθοδος του κάθετου στομίου εκροής προκαλεί πολύ μεγαλύτερη πτώση πίεσης, επειδή ο δίσκος προκαλεί δίνες.

### Μέθοδος του ακροφυσίου

Η μέθοδος του ακροφυσίου (nozzle), περιλαμβάνει ένα ακροφύσιο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την μέθοδο κάθετου στομίου εκροής, επειδή και εδώ υπάρχει ένα συγκλίνον ρεύμα ρευστού μετά το ακροφύσιο, το οποίο εκτοξεύεται με μορφή πίδακα προς το άλλο άκρο του σωλήνα ροής. Η μόνη διαφορά είναι ότι στον μετρητή ακροφυσίου οι ακροδέκτες μέτρησης της πίεσης είναι ακριβώς πριν και μετά το ακροφύσιο, στο σημείο που συγκολλάται με το σωλήνα ροής. Η διαφορά πίεσης στα σημεία αυτά επιτρέπει τον υπολογισμό του ρυθμού ροής και η βαθμονόμηση γίνεται συνήθως σε μονάδες ογκομετρικού ρυθμού ροής.

Η πτώση της πίεσης που προκαλεί ένας μετρητής ακροφυσίου είναι μικρότερη από αυτή που προκαλεί ένα κάθετο στόμιο εκροής, αλλά σημαντική σε σύγκριση με αυτή που προκαλεί ένας σωλήνας Venturi.

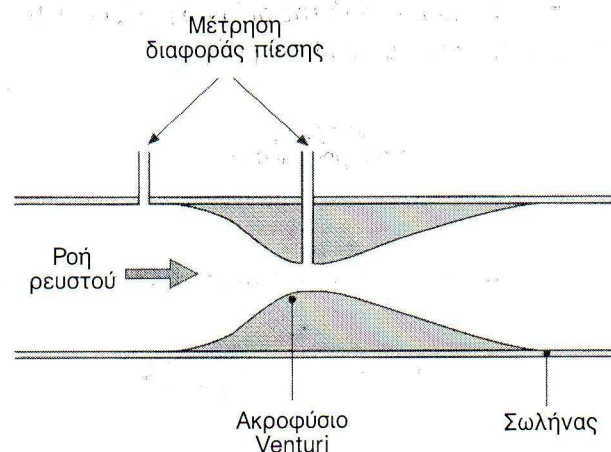


Σχήμα : Μετρητής με ακροφύσιο

Μεταξύ των μεθόδων μέτρησης με σωλήνα Venturi, κάθετο στόμιο εκροής και ακροφύσιο, η μέθοδος του κάθετου στόμιου εκροής είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη, επειδή έχει χαμηλό κόστος, κατασκευάζεται απλά και παρεμβάλλεται εύκολα στους υπάρχοντες σωλήνες ροής.

### Ακροφύσιο Venturi

Για να περιορίσουμε την πτώση πίεσης που προκαλείται από ένα μετρητή με ακροφύσιο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία παραλλαγή ακροφυσίου που ονομάζεται ακροφύσιο Venturi. Η μορφή ενός τέτοιου ακροφυσίου εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελεί ένα συνδυασμό του σχήματος του σωλήνα Venturi και του μετρητή ακροφυσίου, καθώς υπάρχει ακροφύσιο αλλά η διαδρομή που ακολουθείται μετά είναι ίδια με την διεύρυνση που υπάρχει στους σωλήνες Venturi.



Σχήμα : Ακροφύσιο Venturi

Όπως και οι προηγούμενοι μετρητές, έτσι και αυτός ο μετρητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση ροής υγρών αλλά και αερίων με καλή ακρίβεια. Τα

ακροφύσια Venturi είναι συνήθως πιο ακριβά από τους απλούς μετρητές ακροφυσίου αλλά προκαλούν σημαντικά μικρότερη πτώση πίεσης.

## 7.4 Συσκευές μέτρησης που δεν επηρεάζουν τη ροή

Οι συσκευές μέτρησης ροής αυτού του είδους τείνουν να χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές μεθόδους για την ανίχνευση της ροής, είναι πιο ακριβείς από τις τεχνικές που παρεμβάλλονται στη ροή αλλά πιο περίπλοκες και επομένως πιο ακριβές.

Σήμερα υπάρχουν διάφορες μορφές συσκευών που δεν εμποδίζουν τη ροή. Θα περιγράψουμε δύο βασικές μορφές :

- Τον ηλεκτρομαγνητικό μετρητή ροής
- Τον υπερηχητικό μετρητή ροής

### Ηλεκτρομαγνητικός μετρητής ροής

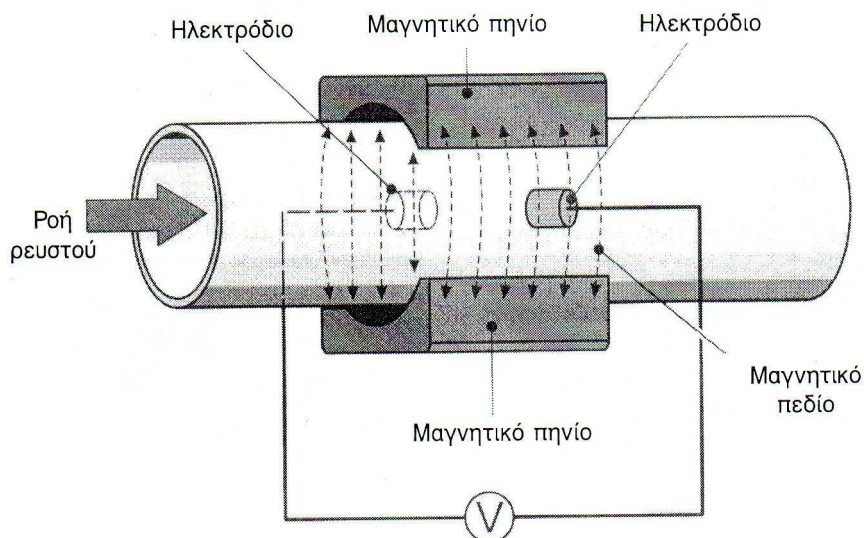
Ο ηλεκτρομαγνητικός μετρητής (electromagnetic flow meter), στηρίζεται στο νόμο του Faraday της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Για να χρησιμοποιηθεί ο νόμος αυτός για την μέτρηση της ροής ενός ρευστού, θα πρέπει ο μετρητής να χρησιμοποιήσει το ρευστό ως αγωγό. Μετρώντας το μέγεθος της επαγόμενης ΗΕΔ μπορεί να υπολογιστεί ο ρυθμός ροής. Το μέγεθος της ΗΕΔ δίνεται από την σχέση :

$$e = Blv$$

- $e$  είναι η επαγόμενη ΗΕΔ, σε volt
- $B$  είναι η μαγνητική επαγωγή, σε tesla
- $l$  είναι το μήκος του αγωγού που κόβει τη μαγνητική ροή, σε m
- $v$  είναι η ταχύτητα του αγωγού, σε  $m \cdot s^{-1}$

Η μορφή ενός τέτοιου μετρητή εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Δύο πηνία συνδέονται σε σειρά και προσαρμόζονται σε απέναντι σημεία του σωλήνα, σχηματίζοντας ορθή γωνία με την κατεύθυνση ροής.



Σχήμα : Ηλεκτρομαγνητικός μετρητής ροής

Όταν τα πηνία ενεργοποιηθούν από ένα μικρό ρεύμα, δημιουργείται στο εσωτερικό του ρευστού ένα μικρό μαγνητικό πεδίο.

Δύο μετρητές αγωγιμότητας τοποθετούνται σε μόνιμη ηλεκτρική επαφή με το ρευστό. Τοποθετούνται κάθετα στην κατεύθυνση της ροής και κάθετα στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Οι δύο μετρητές αντιλαμβάνονται την επαγόμενη ΗΕΔ και το σήμα που δημιουργούν ρυθμίζεται και κατευθύνεται σε μία καταγραφική συσκευή ή έναν ενδείκτη.

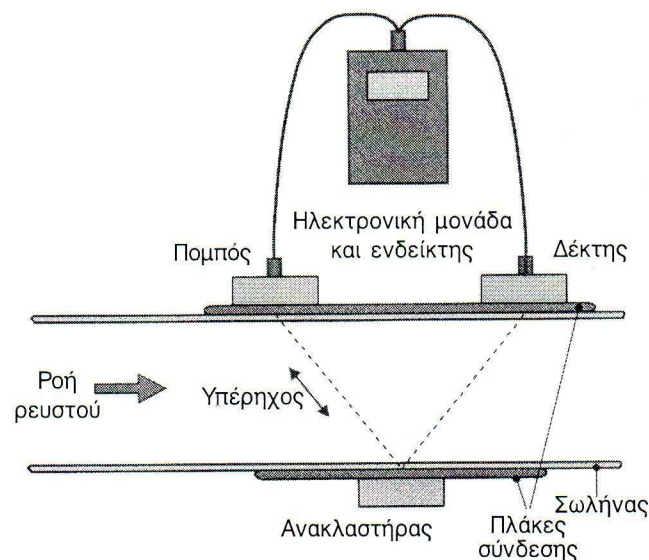
Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, η έξοδος μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες ταχύτητας, ογκομετρικού ρυθμού ροής ή εφόσον η πυκνότητα του ρευστού είναι σταθερή σε μονάδες ρυθμού ροής μάζας.

Λόγω του ασθενούς μαγνητικού πεδίου που δημιουργούν τα πηνία, το μέγεθος της επαγόμενης ΗΕΔ είναι ιδιαίτερα μικρό και επηρεάζεται από ηλεκτρικό θόρυβο και εισάγει ανακρίβεια στη μέτρηση. Εντούτοις, η μέθοδος αυτή δεν εμποδίζει ροή και δεν επηρεάζεται από ρευστά που περιέχουν συμπυκνωμένη ύλη, όπως είναι το υγρό τσιμέντο και ο πολτός τροφών.

Οι ηλεκτρομαγνητικοί μετρητές ροής επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της ταχύτητας ενός πλοίου. Εδώ η ροή λαμβάνει χώρα έξω από τον αισθητήρα και όχι σε κάποιο χώρο εσωτερικά. Ένας ηλεκτρομαγνητικός μετρητής τοποθετείται στη βάση του κύτους του πλοίου. Δύο ρευματοφόρα πηνία που τοποθετούνται υδατοστεγώς στο κύτος πλοίου, δημιουργούν τοπικό μαγνητικό πεδίο μέσα στο νερό. Έτσι καθώς το πλοίο κινείται, το νερό βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και ταυτόχρονα ρέει γύρω από το μετρητή. Όταν οι κατευθύνσεις του πεδίου, της ροής του νερού και των μετρητών είναι μεταξύ τους κάθετες, τότε μπορεί να ανιχνευτεί η επαγόμενη ΗΕΔ και να προσδιορίζεται η ταχύτητα του πλοίου.

Οι ηλεκτρομαγνητικοί μετρητές ροής δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση αερίων.

### Μετρητές ροής υπερήχων



Σχήμα : Μετρητής ροής υπερήχων

Στο παραπάνω σχήμα εικονίζεται ένας μετρητής ροής υπερήχων (ultrasonic flow meter), ο οποίος είναι προσαρμοσμένος σε ένα σωλήνα. Αποτελείται από έναν πομπό

υπερηχητικών σημάτων, έναν ανακλαστήρα και έναν ανιχνευτή (δέκτη) που είναι τοποθετημένος σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση από τον πομπό, κατά μήκος του σωλήνα.

Ο πομπός παράγει έναν υπερηχητικό παλμό, ο οποίος ανακλάται επάνω στον ανακλαστήρα και φθάνει στο δέκτη. Εάν η ροή είναι μηδέν, τότε ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει ο παλμός από τον πομπό στο δέκτη καθορίζεται αποκλειστικά από την απόσταση πομπού – ανακλαστήρα - δέκτη και την ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ο υπέρηχος στο ρευστό. Εντούτοις, εάν το ρευστό κινείται με κατεύθυνση από τον πομπό προς το δέκτη, τότε ο υπέρηχος θα ταξιδέψει πιο γρήγορα. Αντίστροφα, εάν το ρευστό κινείται με κατεύθυνση από το δέκτη προς τον πομπό, τότε ο υπέρηχος θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο.

Η ηλεκτρονική μονάδα και ο ενδείκτης είναι βαθμονομημένα έτσι ώστε ο απαιτούμενος χρόνος να εμφανίζεται σε μονάδες ρυθμού ροής του ρευστού.

Οι μετρητές ροής υπερήχων μπορούν να μετρούν τη ροή με συνεχή τρόπο και προς τις δύο κατευθύνσεις, δεν εμποδίζουν τη ροή και είναι συνήθως φορητοί. Οι μετρητές τέτοιου είδους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση μέτρησης ροής αερίων.

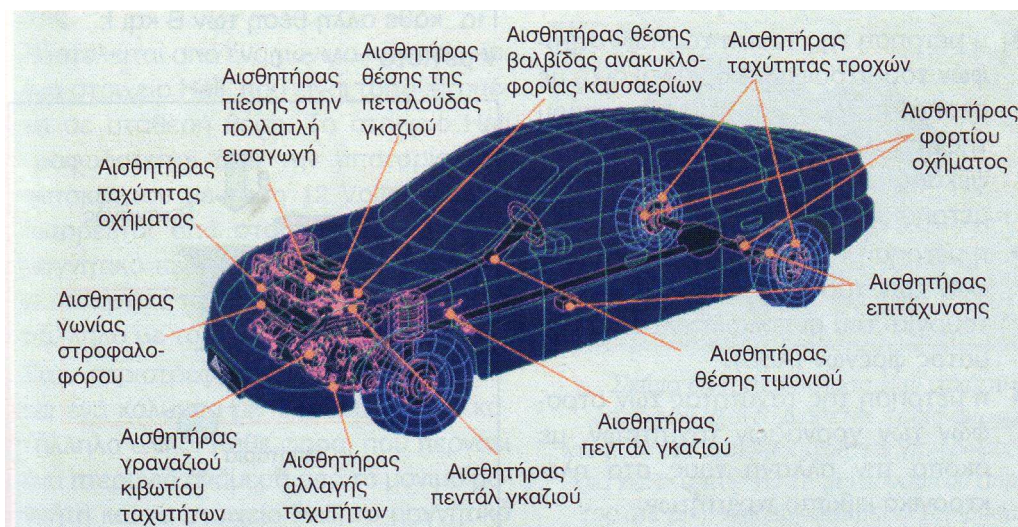
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### 8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

#### Τα είδη των αισθητήρων στο αυτοκίνητο

Τα σημερινά προηγμένα συστήματα ελέγχου των αυτοκινήτων έχουν απαίτηση ενός μεγάλου αριθμού αισθητήρων, για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις συμπεριφοράς και αξιοπιστίας των αυτοκινήτων. Αυτοί οι αισθητήρες πρέπει να έχουν υψηλές προδιαγραφές σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος κατασκευής.

Παρατηρώντας το παρακάτω σχήμα, βλέπουμε την ποικιλία των αισθητήρων, που υπάρχουν στο σύγχρονο αυτοκίνητο.



Σχήμα : Διάφορα είδη αισθητήρων στο αυτοκίνητο

Ο αριθμός τους ξεπερνά τους 25. Παρακάτω θα περιγράψουμε μερικούς από αυτούς.

## 8.2 Αισθητήρες ταχύτητας

Ο ρόλος των αισθητήρων ταχύτητας στροφών είναι να μετρούν την ταχύτητα των στροφών ενός περιστρεφόμενου άξονα ανά λεπτό (rpm) Αυτό είναι ένα από τα θεμελιώδη μεγέθη που πρέπει να μετρηθούν σε ένα αυτοκίνητο, αφού αποτελεί τη βάση αναφοράς για την λειτουργία και ρύθμιση άλλων συστημάτων και υποσυστημάτων.

**Οι βασικές εφαρμογές των αισθητήρων αυτών στο αυτοκίνητο είναι :**

- η μέτρηση της ταχύτητας των στροφών του στροφαλοφόρου άξονα, με σκοπό τη ρύθμιση του χρονισμού της ανάφλεξης και της διάρκειας του ψεκασμού του καυσίμου
- η μέτρηση της ταχύτητας των στροφών των τροχών, με σκοπό τη λειτουργία του αντιολισθητικού συστήματος φρένων (ABS)
- η μέτρηση της ταχύτητας των στροφών των γραναζιών ταχυτήτων, με σκοπό την αλλαγή τους στο ηλεκτρονικό κιβώτιο ταχυτήτων.

Η τεχνολογία έχει να παρουσιάσει πολλά είδη αισθητήρων ταχύτητας στροφών, όπως είναι οι αισθητήρες φαινομένου Hall, οι φωτοηλεκτρικοί (οπτικού τύπου), οι αισθητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης και οι μαγνητικοί. Η τάση της τεχνολογίας είναι να αντικαθιστά τους παλαιού τύπου αισθητήρες επαφής με μη επαφής, γιατί δεν έχουν τριβές και τους ενεργούς αισθητήρες με παθητικούς, γιατί θέλουν ελάχιστη συντήρηση.

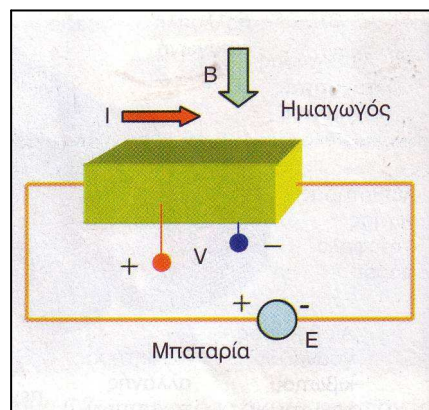
### Αισθητήρας ταχύτητας στροφών φαινομένου HALL

Όταν ένα στοιχείο ημιαγωγού ή στοιχείο Hall τροφοδοτείται από σταθερό ρεύμα έντασης  $I$  και βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο  $B$ , παράγει τάση  $V$  που εξαρτάται από την θέση του ημιαγωγού στοιχείου μέσα στο πεδίο.

Αν το  $B$  είναι κάθετο στο  $I$ , τότε  $V=V_{\text{μέγιστο}}$ .

Αν το  $B$  είναι παράλληλο στο  $I$ , τότε  $V=0$

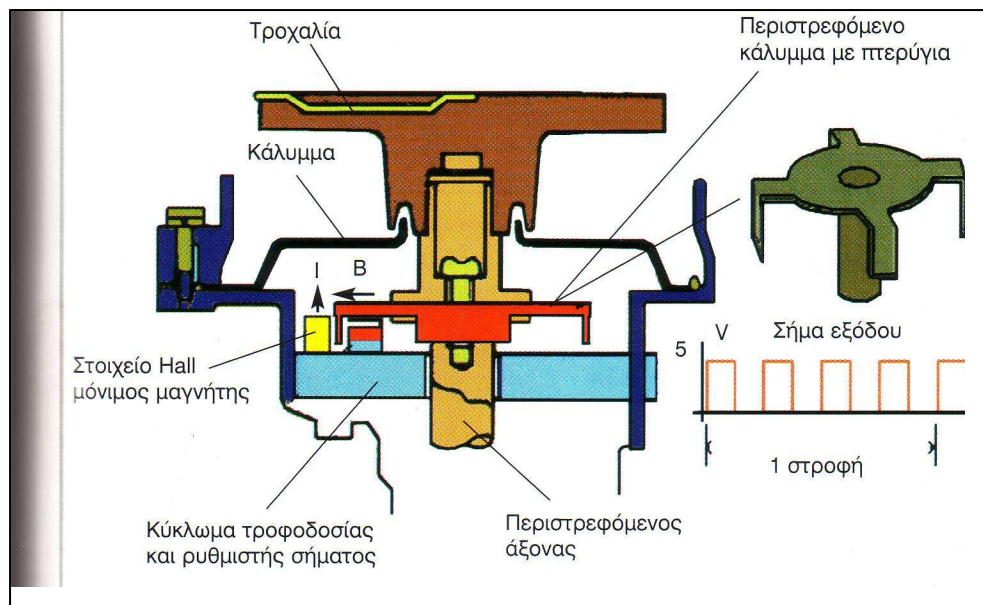
Για κάθε άλλη θέση των  $B$  και  $I$ , τότε  $V$  μέγιστο  $>V>0$ .



Σχήμα : Φαινόμενο Hall

Το φαινόμενο αυτό αποτελεί την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα ταχύτητας στροφών, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Ο αισθητήρας είναι ενεργός, μη επαφής και έχει ψηφιακή έξοδο τάσης.

Αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη και ένα στοιχείο hall, που είναι τοποθετημένα σε σταθερή θέση. Το στοιχείο hall τροφοδοτείται από την μπαταρία του αυτοκινήτου με τάση 12 Volts και έτσι διαρρέεται από σταθερό ρεύμα  $I$ . Το μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη κατευθύνεται αρχικά προς τα πάνω και είναι παράλληλο με το ρεύμα  $I$ , έτσι ώστε  $V=0$ . Στον περιστρεφόμενο άξονα στερεώνεται ένα κάλυμμα με 4 πτερύγια από κατάλληλο υλικό. Κάθε φορά, που περνάει ένα πτερύγιο ανάμεσα από τον μόνιμο μαγνήτη και το στοιχείο hall, το μαγνητικό πεδίο  $B$  εκτρέπεται και γίνεται κάθετο στο σταθερό ρεύμα  $I$ , έτσι ώστε  $V=V_{\text{μέγιστο}}=5\text{Volts}$ , ενώ όταν δεν υπάρχει πτερύγιο, το  $V=0$ . Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα ψηφιακό σήμα εξόδου, που είναι ανάλογο προς τον αριθμό των στροφών του άξονα ανά λεπτό(rpm)



Σχήμα : Αισθητήρας ταχύτητας στροφών φαινομένου HALL



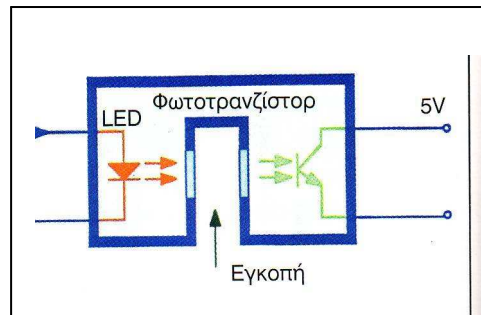
Σχήμα : Αισθητήρας HALL ταχύτητας στροφών άξονα. Διαθέτει τρεις ακροδέκτες. Οι δύο χρησιμοποιούνται για τροφοδοσία και ο τρίτος για τη μετάδοση του σήματος στο



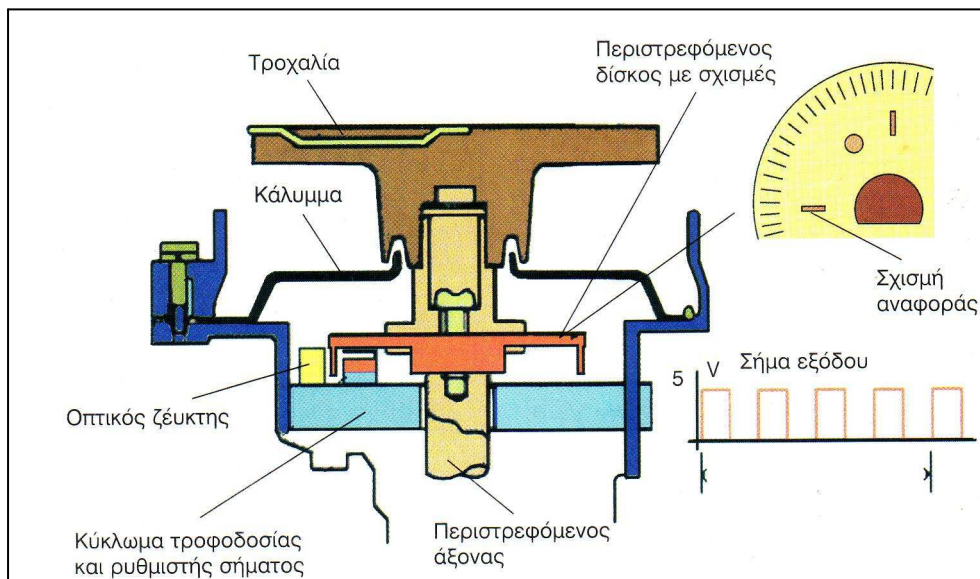
μικροϋπολογιστή μέσω του βύσματος. Έχει αξιόπιστη λειτουργία σε θερμοκρασίες από -40 μέχρι + 150°C

### Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας ταχύτητας στροφών

Ο αισθητήρας αυτού του τύπου χρησιμοποιεί μια ακτίνα από υπέρυθρο φως για να ανιχνεύσει την ταχύτητα των στροφών του άξονα. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον έλεγχο της υπέρυθρης αυτής ακτίνας, δηλαδή στο πόσες φορές διακόπηκε και αποκαταστάθηκε η ακτίνα από κάποιο κινούμενο αντικείμενο. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την βοήθεια μιας ηλεκτρικής διάταξης, που λέγεται οπτικός ζεύκτης με εγκοπή. Ο οπτικός ζεύκτης είναι μια απλή διάταξη δύο στοιχείων ημιαγωγών, μιας διόδου με φωτοεκπομπή υπέρυθρου φωτός(LED) και ενός απλού φωτοτρανζίστορ με δύο ακροδέκτες.(σχήμα 5,1) Ο οπτικός ζεύκτης είναι η καρδιά του φωτοηλεκτρικού αισθητήρα ταχύτητας στροφών, που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 5,2) και είναι ένας ενεργός, μη επαφής με ψηφιακή έξοδο τάσης αισθητήρας.



Σχήμα 5,1: Οπτικός ζεύκτης που κλείνει όταν φωτίζεται ή ανοίγει αν δεν φωτίζεται.



Σχήμα 5,2 : Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας ταχύτητας στροφών.

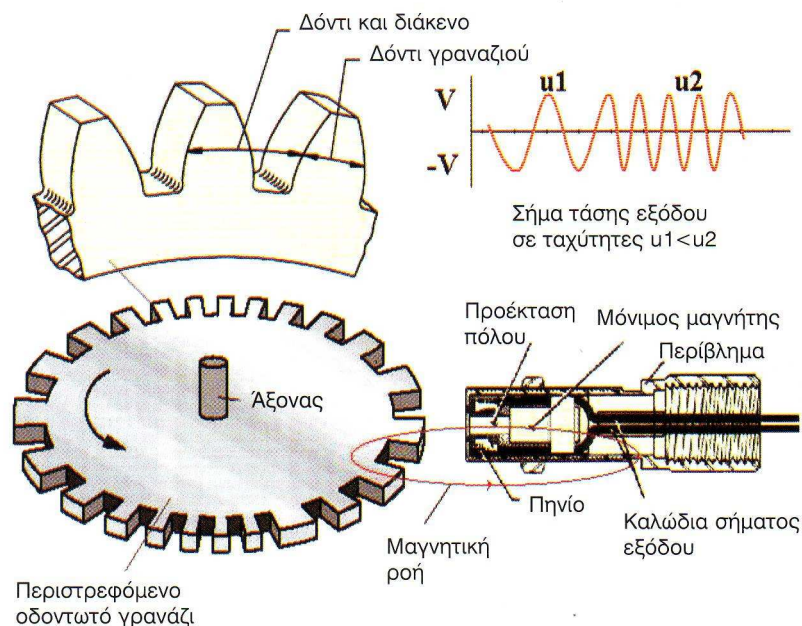
Αποτελείται από έναν οπτικό ζεύκτη με εγκοπή, μέσα στην οποία περιστρέφεται ένας δίσκος με σχισμές, που είναι στερεωμένος στον άξονα την ταχύτητα του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Η δίοδος LED φωτοεκπομπής τροφοδοτείται συνεχώς με τάση 12 Volts και έτσι εκπέμπει σταθερά υπέρυθρο φως, που κατευθύνεται στο φωτοτρανζίστορ. Καθώς περιστρέφεται ο δίσκος με τις σχισμές, η φωτεινή ακτίνα διακόπτεται διαδοχικά ανοιγοκλείνοντας έτσι τον διακόπτη του φωτοτρανζίστορ. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται ένα ψηφιακό σήμα εξόδου, που είναι ανάλογο προς τον αριθμό των στροφών του άξονα ανά λεπτό(rpm)



Σχήμα : Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας ταχύτητας στροφών άξονα. Το πιο δύσκολο τεχνικό πρόβλημα είναι η ευθυγράμμιση των στοιχείων του για την οπτική ζεύξη. Η λύση είναι η χρησιμοποίηση συμπαγούς μονάδας οπτικού ζεύκτη, που είναι σωστά ευθυγραμμισμένη από τον κατασκευαστή.

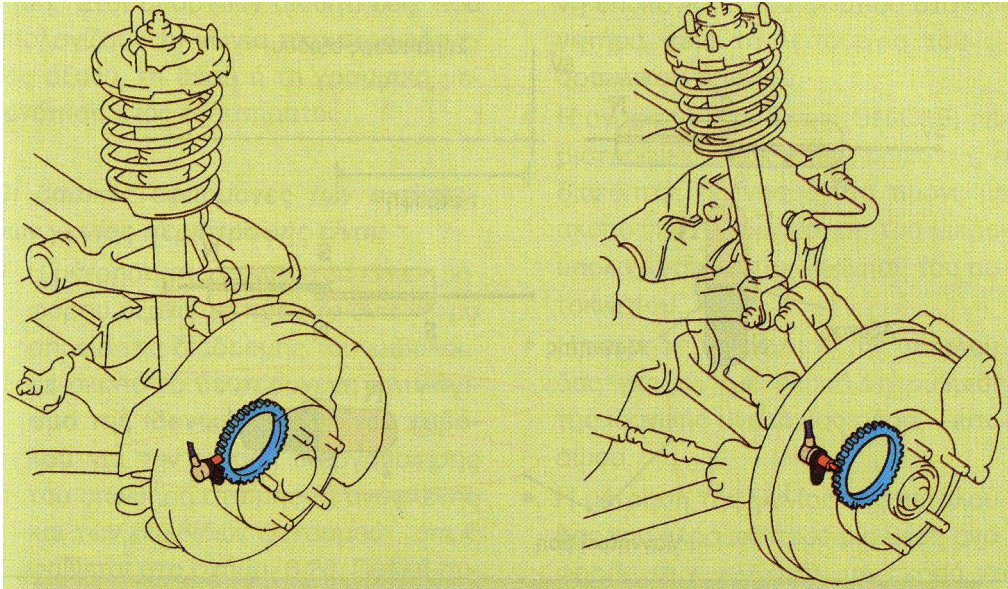
### Αισθητήρας ταχύτητας στροφών μαγνητικής αντίστασης

Οι ιδιότητες της μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης αποτελούν την αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου αισθητήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6,1. Ο αισθητήρας αυτός είναι ένας παθητικός αισθητήρας μη επαφής με αναλογική έξοδο τάσης.

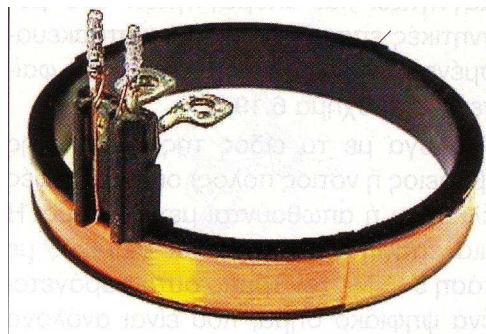


Σχήμα 6,1 : Αισθητήρας ταχύτητας στροφών μαγνητικής αντίστασης

Αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη με τμήμα προέκτασης του πόλου, γύρω από τον οποίο είναι τυλιγμένο ένα πηνίο. Αυτή η διάταξη είναι γνωστή και ως μαγνητική κεφαλή ή γεννήτρια μαγνητικών πόλων. Ένα οδοντωτό γρανάτζι από σιδηρομαγνητικό υλικό είναι στερεωμένο πάνω στον άξονα ή τον τροχό την ταχύτητα του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Καθώς περιστρέφεται ο άξονας τα δόντια και τα μεταξύ τους διάκενα περνούν διαδοχικά μπροστά από την μαγνητική κεφαλή. Η μαγνητική ροή που περνά και μέσα από το πηνίο μεταβάλλεται συνέχεια και έτσι παράγεται ένα αναλογικό εναλλασσόμενο σήμα τάσης. Ο μικροϋπολογιστής γνωρίζοντας τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού, υπολογίζει την ταχύτητα των στροφών του άξονα από την συχνότητα και το πλάτος του παραγόμενου αναλογικού σήματος αφού πρώτα το μετατρέψει σε ένα ψηφιακό σήμα με έναν μετατροπέα. Στο σχήμα 6,2 φαίνεται μια παραλλαγή ενός αισθητήρα μαγνητικής αντίστασης, όπου αντί για το οδοντωτό γρανάτζι υπάρχει ένας δακτύλιος με μαγνητικούς πόλους που προεξέχουν. Ένα τέτοιο μαγνητικό δακτύλιο με τον αισθητήρα του βλέπουμε και στην εικόνα 6,3. Η σχεδίαση αυτή χρησιμοποιείται συχνά στο αντιολισθητικό σύστημα των φρένων(ABS). Οι αισθητήρες αυτοί είναι αξιόπιστοι, χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση και λειτουργούν σε θερμοκρασίες -40 ως και 165 °C.



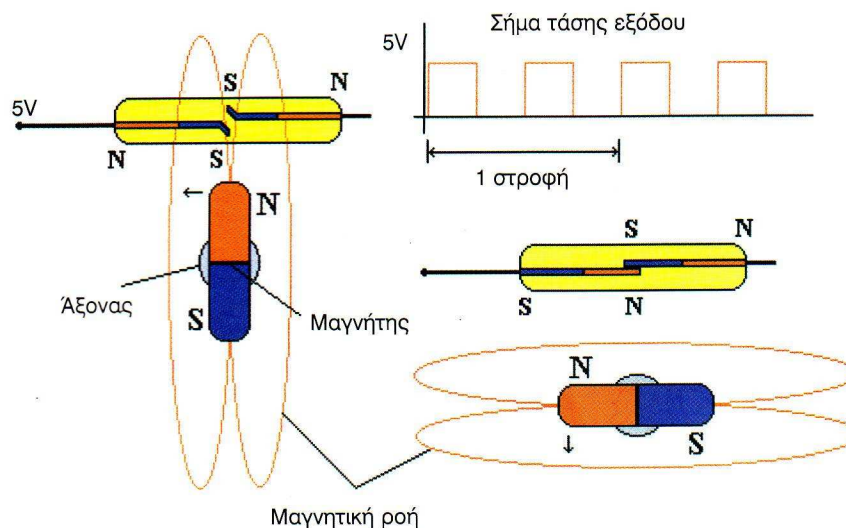
Σχήμα 6,2: Μαγνητικός αισθητήρας στροφών τροχού σε σύστημα ABS



Σχήμα 6,3: Μαγνητικός δακτύλιος ABS

### Αισθητήρας ταχύτητας στροφών μαγνητιζόμενων επαφών

Το γνωστό φαινόμενο της μαγνήτισης μερικών υλικών από άλλους μόνιμους μαγνήτες αποτελεί την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα ταχύτητας στροφών με μαγνητιζόμενες επαφές. Ο αισθητήρας αυτός είναι ενεργός, μη επαφής και έχει ψηφιακή έξοδο τάσης. Λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και του απλού τρόπου λειτουργίας του έχει επικρατήσει στις σύγχρονες εφαρμογές του αυτοκινήτου. Αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη, που είναι στερεωμένος πάνω στον άξονα, την ταχύτητα του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Καθώς περιστρέφεται ο μαγνήτης μαγνητίζει και απομαγνητίζει δύο μαγνητικές επαφές που είναι κατασκευασμένες από κατάλληλο υλικό, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Αισθητήρας ταχύτητας στροφών μαγνητιζόμενων επαφών

Ανάλογα με το είδος της μαγνήτισης (βόρειος ή νότιος πόλος) οι δύο επαφές έλκονται ή απωθούνται μεταξύ τους. Η μία επαφή τροφοδοτείται διαρκώς με τάση 5 V. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα ψηφιακό σήμα, που είναι ανάλογο προς τον αριθμό των στροφών του άξονα ανά λεπτό.

Ένας αισθητήρας τέτοιου είδους μπορεί να αντέξει σε σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος, δεν μπορεί όμως να λειτουργήσει σε πολύ υψηλές στροφές. Αυτό γίνεται γιατί οι επαφές του δεν προλαβαίνουν να αλλάξουν μαγνητισμό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην καθυστέρηση αλλαγής είδους μαγνήτισης, που είναι γνωστή ως μαγνητική υστέρηση.

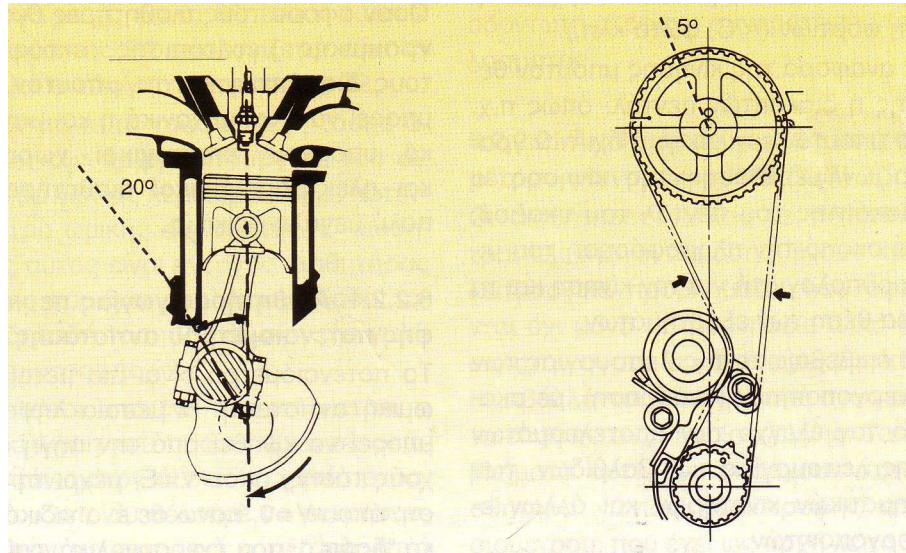
### **8.3 Αισθητήρες θέσης ή μετατόπισης εξαρτημάτων**

Ο ρόλος των αισθητήρων θέσης εξαρτημάτων είναι να υπολογίζουν με ακρίβεια τη θέση ενός άξονα ή ενός εξαρτήματος και να δίνουν την πληροφορία αυτή στο μικροϋπολογιστή. Τα περισσότερα εξαρτήματα στο αυτοκίνητο κινούνται με περιστροφική ή ευθύγραμμη κίνηση. Έτσι υπάρχουν αισθητήρες, που υπολογίζουν τη

γωνία περιστροφής ενός άξονα, τη θέση ή τη γραμμική μετατόπιση ενός εξαρτήματος.

**Οι βασικές εφαρμογές των αισθητήρων γωνίας περιστροφής είναι :**

- η μέτρηση της γωνίας του εκκεντροφόρου άξονα ως προς το άνω νεκρό σημείο της διαδρομής του εμβόλου, με σκοπό τον υπολογισμό της ιδανικής θέσης του εμβόλου για την εντολή ενεργοποίησης του σπινθήρα στα μπουζί ανάφλεξης και των βαλβίδων ψεκασμού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Μέτρηση γωνίας θέσης του εκκεντροφόρου άξονα

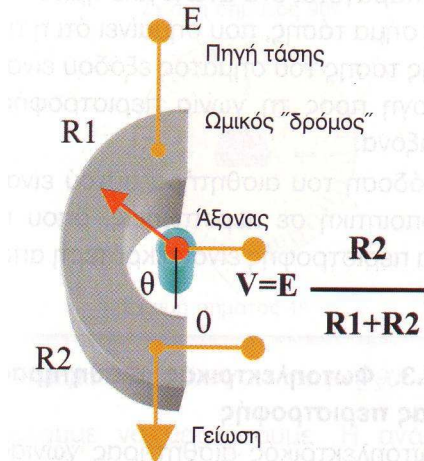
- η μέτρηση της γωνίας του άξονα τιμονιού ως προς τη θέση του για ευθεία πορεία, με σκοπό τον υπολογισμό του φορτίου στον κινητήρα, από τη λειτουργία του υδραυλικού τιμονιού.
- η αναφορά της θέσης (ON-OFF) περιστροφικών διακοπών, όπως π.χ. ο διακόπτης εκκίνησης στο τιμόνι, με σκοπό την πληροφόρηση του μικροϋπολογιστή για την εκκίνηση του αυτοκινήτου.
- η μέτρηση της πεταλούδας γκαζιού, με σκοπό τη ρύθμιση της ιδανικής αναλογίας αέρα – καυσίμου
- η μέτρηση της γωνίας της πεταλούδας του αέρα ως προς τη θέση αναφοράς (π.χ. κλειστή), με σκοπό τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας αέρα. Η μέτρηση αυτή είναι απαραίτητη για την ρύθμιση της ιδανικής αναλογίας αέρα – καυσίμου, τη ρύθμιση στροφών στο ρελαντί και την προσαρμογή του χρονισμού της ανάφλεξης στο φορτίο του κινητήρα.

Εκτός των εφαρμογών των αισθητήρων γωνίας περιστροφής, μερικές εφαρμογές των αισθητήρων θέσης ή γραμμικής μετατόπισης είναι :

- η αναφορά της κίνησης μπουτόν θέσης, όπως π.χ. το μπουτόν εμπλοκής ή όχι των γρاناζιών μετάδοσης κίνησης
- η μέτρηση του ύψους συμπίεσης των αμορτισέρ, με σκοπό τη ρύθμιση τους από το σύστημα ενεργής ανάρτησης.

## Αισθητήρας γωνίας περιστροφής ποτενσιόμετρον αντίστασης

Το ποτενσιόμετρο είναι μια μεταβλητή ωμική αντίσταση. Η μεσαία λήψη του μπορεί να κινηθεί από την πηγή συνεχούς τάσης, όπου  $V=E$ , μέχρι τη γείωση, όπου  $V=0$ , πάνω σε ένα ειδικό ωμικό "δρόμο", που έχει συνολική ωμική αντίσταση  $R_{ολ} = R_1 + R_2$  όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Αισθητήρας γωνίας περιστροφής ποτενσιόμετρον αντίστασης

Η διάταξη αυτή, που διαιρεί το δυναμικό  $E$  της πηγής τάσης πάνω στις δύο ωμικές αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$ , είναι γνωστή ως διαιρέτης τάσης. Η τάση τροφοδοσίας π.χ.  $E=12\text{ V}$ , παραμένει σταθερή, η  $R_2$  μεταβάλλεται ανάλογα με τη γωνία  $\theta^\circ$ , ενώ η τάση στα άκρα της  $R_2$  υπολογίζεται εύκολα και είναι ανάλογη της  $R_2$ .

Η ιδιότητα αυτή του διαιρέτη τάσης αποτελεί την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα γωνίας περιστροφής με ποτενσιόμετρο ωμικής αντίστασης. Ο αισθητήρας αυτός είναι ενεργός αισθητήρας επαφής και έχει αναλογική έξοδο τάσης, δηλαδή τάση  $V$  ανάλογη της γωνίας περιστροφής  $\theta^\circ$ .

Αποτελείται από ένα ποτενσιόμετρο, η μεσαία λήψη του οποίου είναι στερεωμένη πάνω στον άξονα τη γωνία του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Όταν περιστραφεί ο άξονας κατά μία γωνία  $\theta^\circ$ , μετακινεί ταυτόχρονα και τη μεσαία λήψη. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα αναλογικό σήμα τάσης εξόδου.

Το αδύνατο σημείο του αισθητήρα είναι η σταθερότητα της μεσαίας λήψης στις ταλαντώσεις και αντιμετωπίζεται με διπλό έλασμα μεσαίας λήψης τύπου U και οδοντωτή στεφάνη συγκράτησης του ελάσματος.

## Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας γωνίας περιστροφής

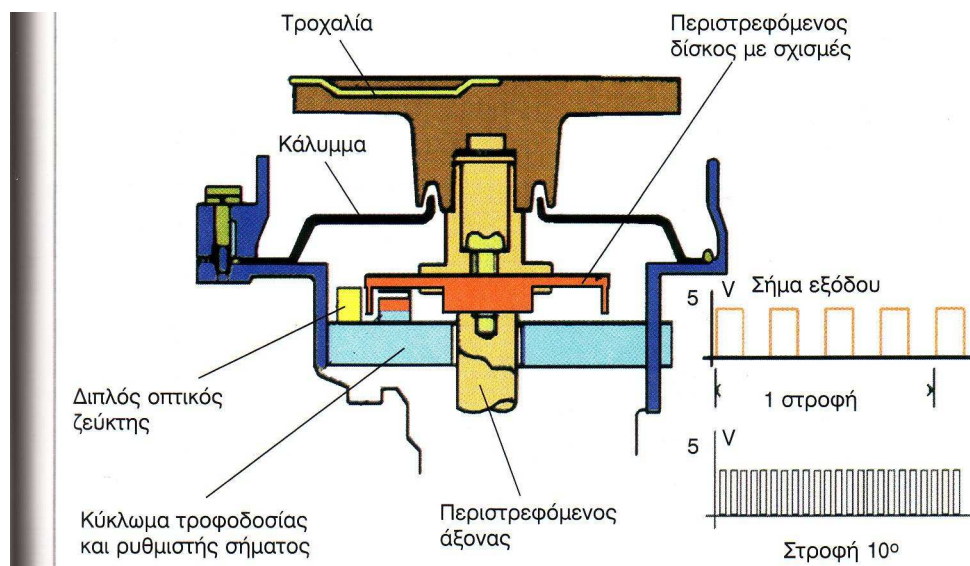
Ο φωτοηλεκτρικός αισθητήρας γωνίας περιστροφής έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με το φωτοηλεκτρικό αισθητήρα ταχύτητας στροφών, που γνωρίσαμε προηγουμένως. Είναι ενεργός αισθητήρας μη επαφής, έχει όμως ψηφιακή έξοδο τάσης.

Η βασική διαφορά του βρίσκεται στη πολύ μεγάλη ανάλυση των σχισμών του δίσκου, που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα, τη γωνία στροφής του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε. Η ανάλυση αυτή καθορίζει και την συχνότητα διακοπής της υπέρυθρης ακτίνας του οπτικού ζεύκτη. Συνήθως μπορεί να κατασκευαστεί δίσκος με σχισμές ανά  $1^\circ$ . Έτσι η ακρίβεια του αισθητήρα είναι μεγάλη, επειδή η υπέρυθρη ακτίνα ανιχνεύει όλες τις μικρής χρονικής διάρκειας διακοπές. Στις περισσότερες όμως πρακτικές εφαρμογές, συνδυάζονται και δύο φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες ταχύτητας

στροφών και γωνίας περιστροφής σε ένα αισθητήρα, χρησιμοποιώντας διπλό οπτικό ζεύκτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η μία ακτίνα ανιχνεύει την ταχύτητα στροφών και δίνει ένα παλμό για κάθε περιστροφή κατά  $90^\circ$ , ενώ η άλλη ακτίνα ανιχνεύει τη γωνία περιστροφής και δίνει ένα παλμό για κάθε περιστροφή κατά  $1^\circ$



Σχήμα : Δίσκος με σχισμές  $90^\circ$  και  $1^\circ$

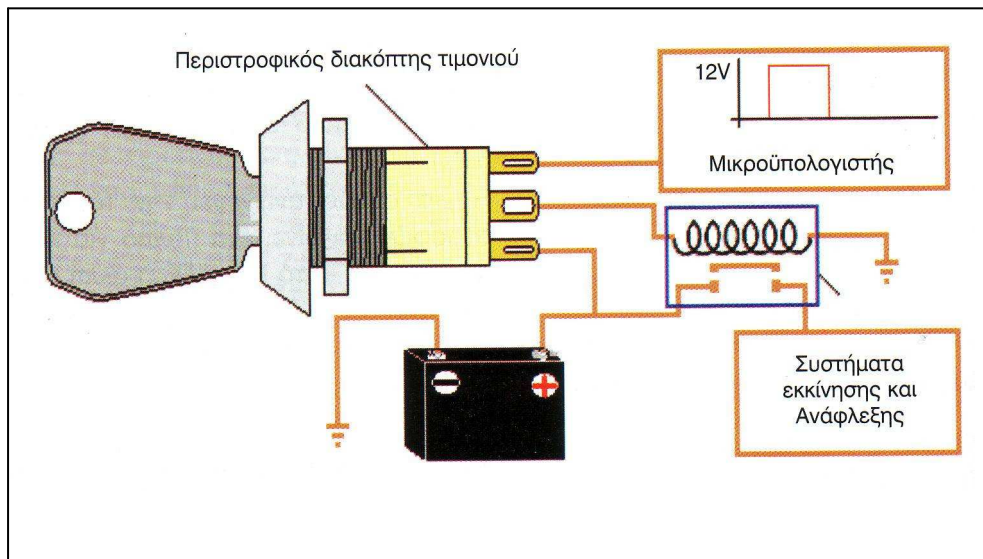


Σχήμα : Φωτοηλεκτρικός αισθητήρας ταχύτητας και γωνίας περιστροφής

### Διακόπτες και μπουτόν θέσης εξαρτημάτων

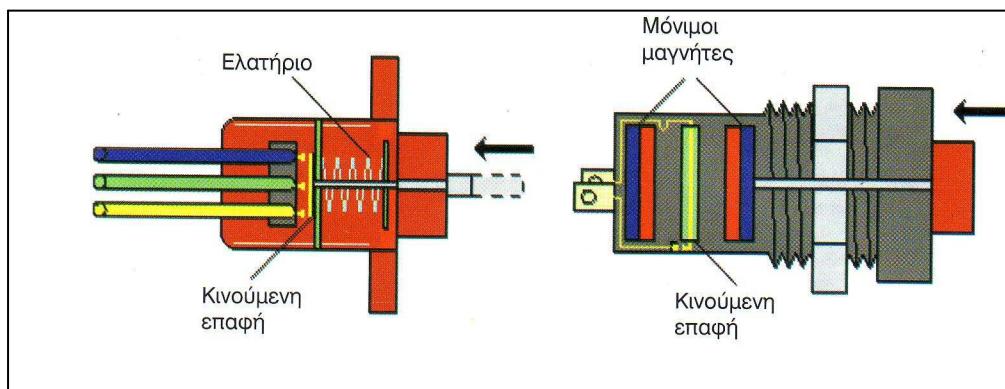
Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται κάποιο εξάρτημα του αυτοκινήτου μπορεί εύκολα να ανιχνευτεί με την βοήθεια διακοπών ή μπουτόν. Έτσι οι διακόπτες και τα μπουτόν θεωρούνται ως ενεργοί αισθητήρες επαφής, που μετατρέπουν την μηχανική κίνηση σε σήμα τάσης. Οι περισσότεροι διακόπτες και μπουτόν έχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας (ON και OFF). Έτσι τα σήματα που παράγουν είναι

ψηφιακά, κατάλληλα να ενημερώσουν απευθείας το μικροϋπολογιστή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Σήμα εκκίνησης από περιστροφικό διακόπτη τιμονιού

Η αρχή λειτουργίας των διακοπών και μπουτόν ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Υπάρχουν μηχανικοί, μαγνητικοί και ηλεκτρονικοί διακόπτες, ενώ ανάλογα με το είδος ανάλογα με το είδος της κίνησης τους οι διακόπτες διακρίνονται σε περιστροφικούς και γραμμικούς. Τα μπουτόν διαφέρουν λειτουργικά από τους διακόπτες επειδή έχουν αυτόματο σύστημα επαναφοράς στην αρχική τους θέση, είτε με μηχανικό τρόπο (ελατήριο), είτε με μαγνητικό τρόπο, όπως φαίνεται στο σχήμα 7,1.



Σχήμα 7,1 : Μπουτόν με μηχανική και μαγνητική επαναφορά

Στο μαγνητικό σύστημα επαναφοράς των μπουτόν, η κινούμενη επαφή καταλαμβάνει το μέσο της απόστασης μεταξύ των δύο μόνιμων μαγνητών, ενώ ο ένας μαγνήτης είναι συνδεδεμένος με το εξάρτημα την κίνηση του οποίου θέλουμε να γνωρίσουμε. Τα μπουτόν χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο θέσης εξαρτημάτων, όπως είναι το μπουτόν ανίχνευσης της θέσης των γραναζιών στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το μπουτόν για τον έλεγχο της θέσης του χειρόφρενου κτλ.



## Επαγωγικός και χωρητικός αισθητήρας θέσης εξαρτημάτων

Σε πολλές εφαρμογές είναι απαραίτητη η επιβεβαίωση της δράσης των ενεργοποιητών από τον μικροϋπολογιστή, πριν δοθεί η εντολή εκτέλεσης της επόμενης απόφασης του. Έτσι για παράδειγμα, πριν δοθεί η εντολή για το κλείσιμο μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, πρέπει να γνωρίζει ο μικροϋπολογιστής ότι αυτή είναι ανοικτή, από προηγούμενη εντολή του. Τα κινητά μέρη των ενεργοποιητών, όπως είναι τα έμβολα, οι βραχίονες, οι τροχαλίες και τα γρανάζια αξόνων, τα διαφράγματα αεραγωγών κτλ., μπορεί να είναι κατασκευασμένα από μέταλλο ή άλλο υλικό και έτσι η ανίχνευση της θέσης τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Στην περίπτωση αυτή δε μας ενδιαφέρει η ακριβής θέση αλλά η ύπαρξη του εξαρτήματος, δηλαδή δεν γίνεται μέτρηση αλλά ανίχνευση. Ένας τρόπος ανίχνευσης της θέσης ενός εξαρτήματος είναι ο επαγωγικός ή ο χωρητικός αισθητήρας, που είναι ενεργοί αισθητήρες μη επαφής και παράγουν αναλογικά σήματα τάσης. Τα σήματα αυτά μετατρέπονται πολύ εύκολα σε ψηφιακά με την βοήθεια κυκλωμάτων ηλεκτρικών γεφυρών.

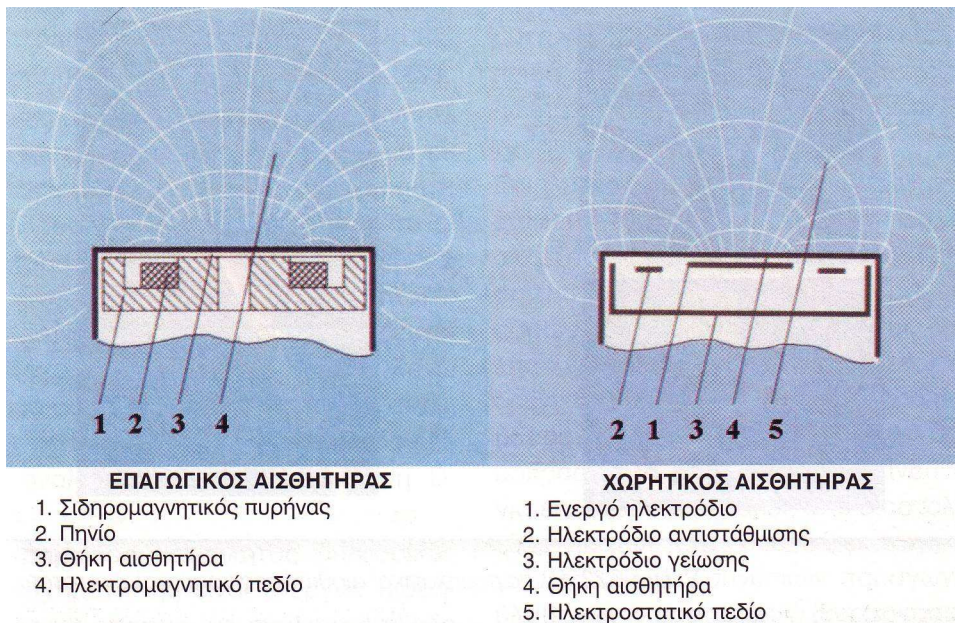
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια ποικιλία από επαγωγικούς και χωρητικούς αισθητήρες, το σχήμα και η μορφή τους εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής.



Σχήμα : Επαγωγικοί και χωρητικοί αισθητήρες.

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις παραμένει η ίδια αρχή λειτουργίας, που είναι η αλλοίωση που προκαλούν τα εξαρτήματα στα πεδία των αισθητήρων όταν με την κίνηση τους βρεθούν μέσα σε αυτά.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενός επαγωγικού και το ηλεκτροστατικό πεδίο ενός χωρητικού αισθητήρα.



Οι επαγωγικοί αισθητήρες παράγουν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, ενώ ο αισθητήρας βρίσκεται σε συντονισμό. Όταν το εξάρτημα βρεθεί μέσα στο πεδίο αυτό απορροφά ενέργεια από το πεδίο και αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά του συντονισμού του αισθητήρα. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα ημιτονοειδές σήμα υψηλής συχνότητας. Αυτός ο τρόπος επιτρέπει στον αισθητήρα να ανιχνεύει μόνο πλατιά μεταλλικά εξαρτήματα π.χ. διαφράγματα αεραγωγών, όταν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, ανεξάρτητα από το αν κινούνται ή όχι.

Οι χωρητικοί αισθητήρες παράγουν ένα ηλεκτροστατικό πεδίο, όπως συμβαίνει στην περίπτωση ενός πυκνωτή. Όταν το εξάρτημα βρεθεί μέσα στο ηλεκτροστατικό πεδίο, αλλοιώνει τη χωρητικότητα του αισθητήρα και παράγεται ένα ημιτονοειδές σήμα υψηλής συχνότητας. Η αρχή αυτής της λειτουργίας επιτρέπει στον αισθητήρα την ανίχνευση μεταλλικών αλλά και πλαστικών ή άλλων εξαρτημάτων ή ακόμα και την ανίχνευση ροής σε σωλίνες.

Και στις δύο περιπτώσεις βασικό ρόλο παίζει το μέγεθος και το σχήμα του εξαρτήματος καθώς και η απόσταση του από τον αισθητήρα.

### Ηλεκτρομηχανικός αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης.

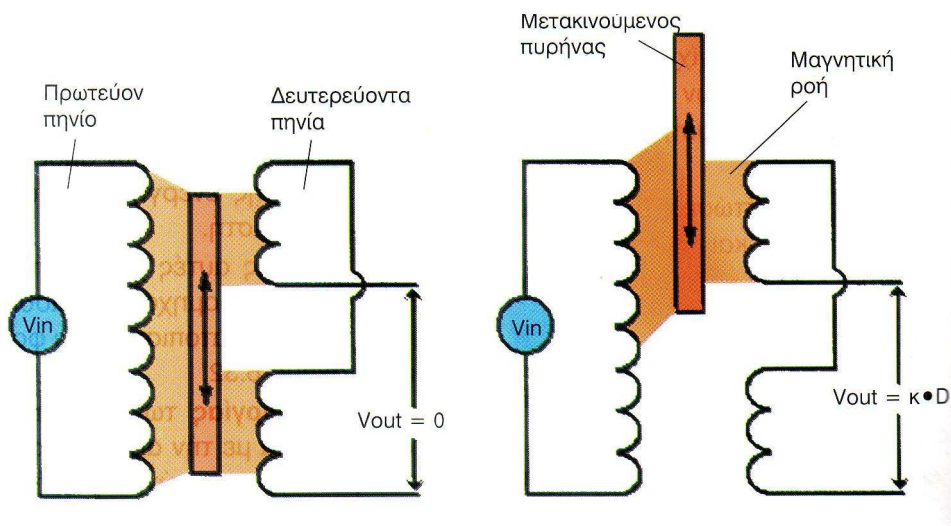
Οι επαγωγικοί και χωρητικοί αισθητήρες λειτουργούν ικανοποιητικά, όταν η απόσταση μεταξύ αισθητήρα και εξαρτήματος είναι μικρότερη από δύο ως τρία εκατοστά. Τα κυριότερο όμως μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να μετρήσουν το μέγεθος της γραμμικής μετατόπισης αλλά απλώς να το ανιχνεύσουν. Υπάρχουν βέβαια πολλές εφαρμογές στις οποίες είναι απαραίτητη και η μέτρηση της γραμμικής μετατόπισης ενός εξαρτήματος, όπως είναι για παράδειγμα η συμπίεση των αμορτισέρ.

Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ειδικοί ηλεκτρομηχανικοί αισθητήρες γραμμικής μετατόπισης που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ηλεκτρομηχανικοί αισθητήρες γραμμικής μετατόπισης.

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων αυτών είναι η ίδια με την αρχή λειτουργίας των μετασχηματιστών, δηλαδή είναι το γνωστό φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Επειδή μάλιστα πρόκειται για μεταβλητό μετασχηματιστή, που μετράει τη διαφορά της επαγόμενης τάσης σε δύο όμοια δευτερεύοντα κυκλώματα, ο αισθητήρας αυτός είναι γνωστός με την ονομασία γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής. Στην ουσία πρόκειται για δύο όμοιους μετασχηματιστές που έχουν κοινό πρωτεύον κύκλωμα και όμοια δευτερεύοντα αλλά με αντίστροφη περιέλιξη. Ο πυρήνας των μετασχηματιστών έχει δυνατότητα γραμμικής κίνησης και είναι συνδεδεμένος με το εξάρτημα, τη γραμμική μετατόπιση του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής.

Όταν ο αισθητήρας ηρεμεί, οι επαγόμενες τάσεις στα δευτερεύοντα πηνία είναι ίσες και αντίθετες, που σημαίνει ότι η έξοδος τάσης  $V_{out} = 0$ . Όταν το εξάρτημα

μετατοπίζεται, μετακινεί και τον κινητό πυρήνα του μετασχηματιστή, με αποτέλεσμα να επάγονται στα δευτερεύοντα πηνία ανόμοιες τάσεις, λόγω ανόμοιας μαγνητικής ροής σε αυτά. Στην περίπτωση αυτή η τάση εξόδου είναι ανάλογη προς την μετατόπιση

Ο γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής είναι ενεργός αισθητήρας μη επαφής, με αναλογική έξοδο τάσης και είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός σε περιβάλλον με δονήσεις, υψηλές θερμοκρασίες. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του είναι ότι μπορεί να μετρήσει όχι μόνο το μέγεθος, αλλά και την κατεύθυνση της μετατόπισης με κριτήριο τη θετική ή αρνητική διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τάσεων των σημάτων εισόδου  $V_{in}$  και εξόδου  $V_{out}$ .

## 8.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Ο ρόλος των αισθητήρων θερμοκρασίας είναι να μετρούν με ακρίβεια τη θερμοκρασία υγρών ή αερίων σε διάφορα συστήματα του αυτοκινήτου και να αναφέρουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο μικροϋπολογιστή.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στα διάφορα συστήματα γίνεται διαρκώς και επιβάλλεται, επειδή ένας κρύος κινητήρας, απαιτεί ειδικές ρυθμίσεις για την εκκίνηση και λειτουργία του. Επιπλέον, η υψηλή θερμοκρασία μεταβάλλει την πυκνότητα υγρών και αερίων, αλλάζοντας τη σύσταση και πίεση του μείγματος καυσίμου-αέρα, ενώ παράλληλα αποτελεί κριτήριο της ομαλής λειτουργίας ενός κινητήρα και ένδειξη του φορτίου του. Τέλος η υψηλή θερμοκρασία αποτελεί σήμα κινδύνου για επερχόμενες βλάβες από διαστολές εξαρτημάτων λόγω υπερθέρμανσης και για την ύπαρξη συνθηκών παραγωγής βλαβερών καυσαερίων (θερμοκρασία καύσης μεγαλύτερη από  $1300^{\circ}\text{C}$ ). Ταυτόχρονα, είναι το σήμα ενεργοποίησης των συστημάτων ψύξης του κινητήρα και του συστήματος συναγερμού για τον οδηγό του οχήματος, που πρέπει να κάνει αμέσως κάποιες ενέργειες.

**Οι βασικές εφαρμογές των αισθητήρων θερμοκρασίας σε υγρά είναι :**

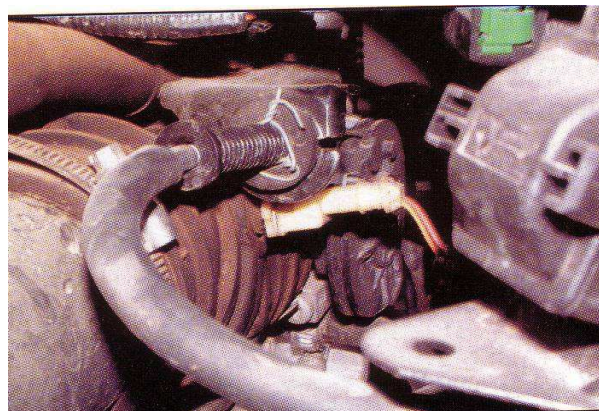
- η μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού υγρού του κινητήρα, με σκοπό τον εμπλουτισμό του μείγματος καυσίμου-αέρα στον κρύο κινητήρα και την ενεργοποίηση του συστήματος ανακυκλοφορίας καυσαερίων στον υπέρθερμο κινητήρα, προκειμένου να γίνει μείωση των ρύπων οξειδίων του αζώτου. Ακόμη η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού είναι κριτήριο ρύθμισης του χρονισμού, αφού απαιτείται προπορεία ανάφλεξης στον κρύο κινητήρα και σταδιακή μείωση του, καθώς ο κινητήρας πλησιάζει την κανονική θερμοκρασία, ενώ παράλληλα είναι κριτήριο και για την ενεργοποίηση των ανεμιστήρων ψύξης.
- η μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου, με σκοπό τη ρύθμιση πολλών παραμέτρων, που αφορούν τη σύσταση και την διάρκεια ψεκασμού του καυσίμου.
- η μέτρηση της θερμοκρασίας της βαλβολίνης σε ηλεκτρονικά κιβώτια ταχυτήτων, με σκοπό την αποδοτικότερη λειτουργία και την πρόληψη φθορών από υπερφόρτιση του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

**Οι βασικές εφαρμογές των αισθητήρων θερμοκρασίας σε αέρια είναι :**

- η μέτρηση της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα στην πολλαπλή εισαγωγή, με σκοπό τη ρύθμιση της ποσότητας του απαιτούμενου αέρα για την διατήρηση των στροφών του κρύου κινητήρα στο ρελαντί, τη θέρμανση του εισερχόμενου αέρα.
- η μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, με σκοπό τη ρύθμιση των παραμέτρων, που αφορούν τη σύσταση και τη διάρκεια ψεκασμού του καυσίμου μείγματος
- η μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του αέρα στο χώρο των επιβατών, με σκοπό τη ρύθμιση του συστήματος κλιματισμού.



Σχήμα : Αισθητήρας θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού



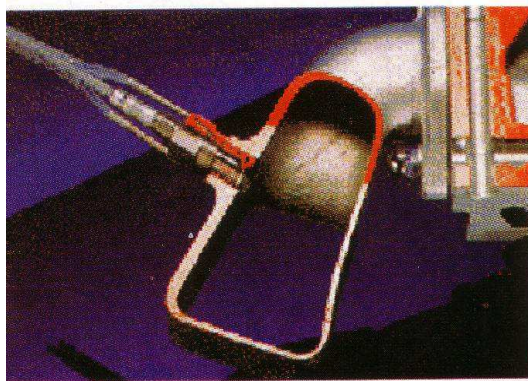
Σχήμα : Αισθητήρας θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα στην πολλαπλή εισαγωγή

Η μέτρηση της θερμοκρασίας στις περισσότερες περιπτώσεις, στηρίζεται στη μεταβολή της τιμής μιας αντίστασης με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Έτσι, από τα διάφορα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας, το επικρατέστερο είναι το θερμίστορ. Ένα άλλο είδος αισθητήρα θερμοκρασίας είναι και ο διμεταλλικός διακόπτης.

## 8.5 Αισθητήρες πίεσης

**Οι κυριότερες εφαρμογές των αισθητήρων πίεσης σε αέρια είναι :**

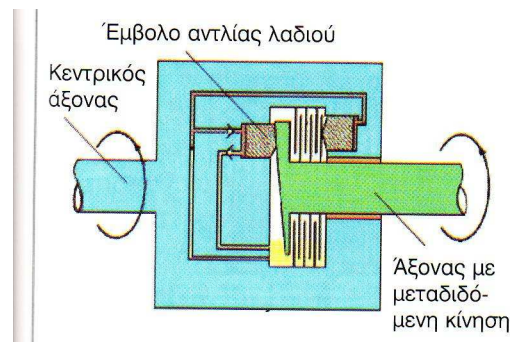
- η μέτρηση της υποπίεσης (απόλυτης πίεσης) του εισερχόμενου αέρα στην πολλαπλή εισαγωγή. Οι πιο πολλοί κινητήρες λειτουργούν με φυσική εισαγωγή αέρα, δηλαδή οι κύλινδροι γεμίζουν με αέρα με την βοήθεια της ατμοσφαιρικής πίεσης. Η υποπίεση είναι ένδειξη για το φορτίο και την ισχύ του κινητήρα., αφού μικρή υποπίεση σημαίνει ότι υπάρχει αρκετός αέρας και έτσι είναι δυνατόν να καταναλωθεί περισσότερο καύσιμο για παραγωγή ισχύος. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για να ρυθμιστεί η πίεση στο σύστημα διανομής καυσίμου και ο χρονισμός της ανάφλεξης.
- η ανίχνευση των κτυπημάτων από κακή ανάφλεξη, με σκοπό τη ρύθμιση του χρονισμού της ανάφλεξης.
- η μέτρηση της πίεσης των καυσαερίων, με σκοπό τη ρύθμιση του συστήματος ανακυκλοφορίας καυσαερίων.
- η μέτρηση της πίεσης των ατμών στη δεξαμενή καυσίμου, με σκοπό την εκτόνωση της πίεσης των αναθυμιάσεων του καυσίμου.
- η μέτρηση της πίεσης των ελαστικών, για την ασφάλεια της οδήγησης.



Σχήμα : Μέτρηση της απόλυτης πίεσης στη πολλαπλή εισαγωγή αέρα

**Οι κυριότερες εφαρμογές των αισθητήρων πίεσης σε υγρά είναι :**

- η μέτρηση της πίεσης του καυσίμου με σκοπό τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου (injection), και τη διατήρηση της σταθερής πίεσης του συστήματος με την ενεργοποίηση της αντλίας καυσίμου.
- η μέτρηση της πίεσης λαδιού σε διάφορα υδραυλικά συστήματα, όπως το σύστημα του υδραυλικού τιμονιού, του ηλεκτρονικού κιβωτίου των ταχυτήτων, της κίνησης σε τέσσερις τροχούς (4WD) κτλ, με σκοπό τον έλεγχο της υδραυλικής ζεύξης για τη μετάδοση της κίνησης σε άξονες.
- η μέτρηση της πίεσης των υγρών στα φρένα, με σκοπό τον έλεγχο και τη ρύθμιση πέδησης στο φρενάρισμα με αντιολίσθηση (ABS)
- η μέτρηση της πίεσης των υγρών στο σύστημα ανάρτησης, με σκοπό τον έλεγχο και τη ρύθμιση του συστήματος ενεργής ανάρτησης



Σχήμα : Η πίεση είναι απαραίτητη για την υδραυλική ζεύξη αξόνων

Σε πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητήρων. Από αυτούς οι επικρατέστεροι είναι οι πιεζοηλεκτρικοί, ενώ πολλές φορές χρησιμοποιούνται και αισθητήρες πιεζοαντίστασης, ακόμη χρησιμοποιούνται και διακόπτες πίεσης, που ανοιγοκλείνουν με επαφή ανάλογα με την ασκούμενη πίεση σε αυτούς.

## 8.6 Διάφοροι άλλοι τύποι αισθητήρων

Οι κατασκευαστές των σύγχρονων αυτοκινήτων έχουν προχωρήσει στον έλεγχο σχεδόν όλων των λειτουργιών του αυτοκινήτου από τους μικροϋπολογιστές, για να πετύχουν οικονομία καυσίμου με παράλληλη διατήρηση της ισχύος κίνησης, την ασφάλεια, τις ανέσεις και την αξιοπιστία στην οδήγηση, χωρίς βέβαια να ξεχνούν και την προστασία του περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό έχουν κατασκευαστεί ειδικοί τύποι αισθητήρων.

Τέτοιοι τύποι αισθητήρων είναι οι παρακάτω :

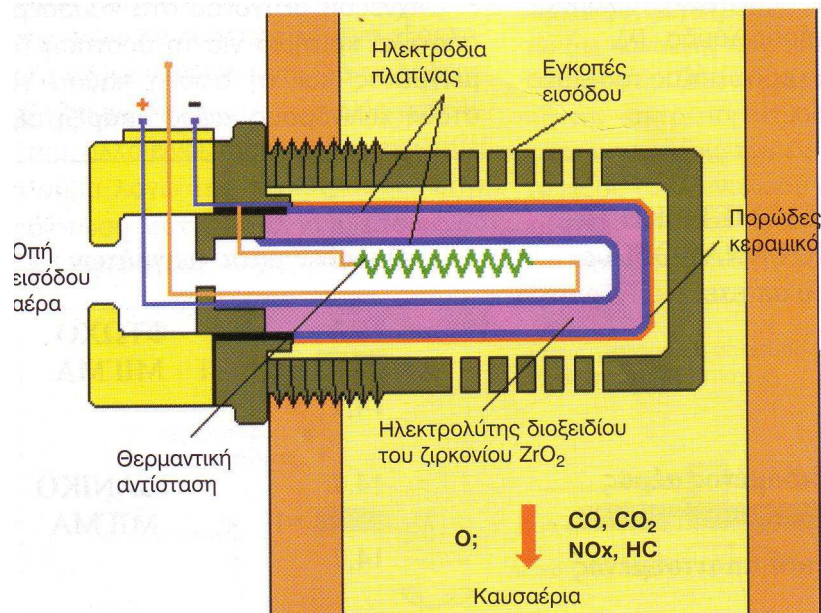
### Αισθητήρας οξυγόνου ή αισθητήρας λάμδα ( $\lambda$ )

Όπως κάθε χημική αντίδραση, έτσι και η τέλεια καύση του μείγματος καυσίμου-αέρα απαιτεί απόλυτα σταθερές αναλογίες καυσίμου και αέρα.

Γίνεται λοιπόν ένας διαρκής αγώνας για την διατήρηση της ιδανικής αναλογίας του μείγματος. Ο ρόλος του αισθητήρα οξυγόνου στον αγώνα αυτό είναι να μετρά συνεχώς την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο, με σκοπό να διορθώνεται από τον μικροϋπολογιστή κάθε φορά η αναλογία του μείγματος, στοχεύοντας τη στοιχειομετρική αναλογία (1kg καυσίμου απαιτεί 14,7kg αέρα).

Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου αισθητήρα είναι ίδια με την αρχή λειτουργίας των συσσωρευτών, δηλαδή οφείλεται στην πόλωση κάποιων ηλεκτροδίων. Έτσι ο αισθητήρας λάμδα όπως μία μικρή ιδιόμορφη μπαταρία.

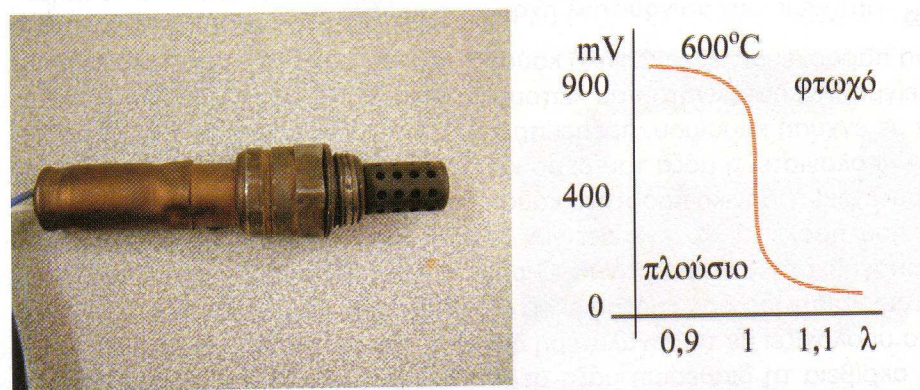
Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια σπογγώδους πλατίνας(Pt) και έχει σαν στερεό (ξηρό) ηλεκτρολύτη ένα στρώμα διοξειδίου του ζirkονίου ( $ZrO_2$ ). Το εξωτερικό ηλεκτρόδιο, που έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια διαμέσου εγκοπών του καλύμματος, προστατεύεται μηχανικά και με ένα στρώμα κεραμικού. Το εσωτερικό ηλεκτρόδιο έρχεται σε επαφή με τον καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα.



Σχήμα : Αισθητήρας λάμδα

Όταν η πλατίνα θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από  $250^{\circ}\text{C}$  δρα σαν καταλύτης και μετατρέπει το οξυγόνο  $\text{O}_2$  σε ιόντα οξυγόνου  $2\text{O}^{--}$ . Αν το μείγμα είναι φτωχό, τότε υπάρχει οξυγόνο στα καυσαέρια, οπότε δεν υπάρχει πόλωση των ηλεκτροδίων και η τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι μικρή 50 mV. Όταν όμως το μείγμα είναι πλούσιο, δεν υπάρχει οξυγόνο στα καυσαέρια, οπότε υπάρχει πόλωση των ηλεκτροδίων και η τάση μεταξύ τους είναι μεγάλη, της τάξης 900 mV.

Επομένως ο αισθητήρας οξυγόνου είναι ένας ηλεκτροχημικός αλλά μη ενεργός αισθητήρας επαφής με ψηφιακή έξοδο τάσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα : Αισθητήρας λάμδα και καμπύλη τάσης εξόδου του

### Αισθητήρας επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης

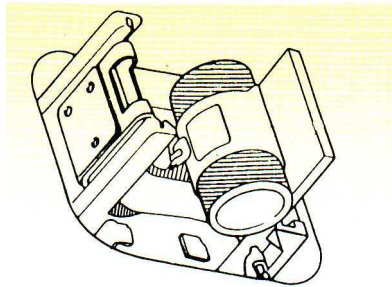
Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα ασφαλείας και άνεσης κατά την οδήγηση κυριαρχούν στις προτιμήσεις πολλών αγοραστών αυτοκινήτων. Τέτοια δημοφιλή



ηλεκτρονικά συστήματα είναι οι αερόσακοι, που έχουν σώσει χιλιάδες ζωές από τη δεκαετία του '80 και το σύστημα ελέγχου της σταθερής ταχύτητας του οχήματος, που επιτρέπει στον οδηγό να ελέγχει με άνεση το όχημα, που κινείται με μία επιλεγμένη ταχύτητα, χωρίς να είναι απαραίτητο "να πατά συνέχεια το γκάζι".

Ο ρόλος ενός αισθητήρα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης είναι να μετρά τις μεταβολές της κινητικής κατάστασης(ηρεμία ή κίνηση) ενός οχήματος, και να ενημερώνει τα διάφορα συστήματα ασφαλείας και άνεσης στην οδήγηση. Κατά την σύγκρουση ενός αυτοκινήτου υπάρχει μία απότομη επιβράδυνση, ενώ σε ένα σύστημα ελέγχου σταθερής ταχύτητας μας ενδιαφέρουν οι μέγιστες αποκλίσεις της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης από την περιοχή της προεπιλεγμένης τιμής της ταχύτητας (π.χ 110Km/h).

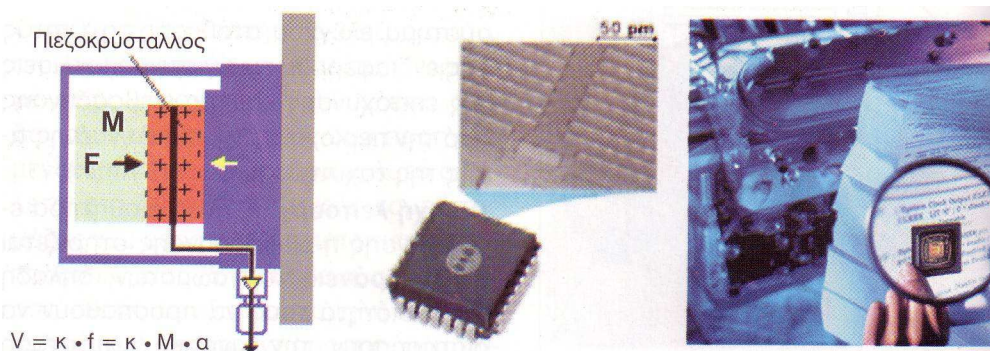
Η αρχή λειτουργίας ενός αισθητήρα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης στηρίζεται στην αδράνεια των σωμάτων, δηλαδή στην ιδιότητα τους να προσπαθούν να διατηρήσουν την κινητική κατάσταση που έχουν. Οι πρώτοι τέτοιου είδους αισθητήρες ήταν μηχανικοί και λειτουργούσαν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, με την ενεργοποίηση μιας ηλεκτρικής επαφής από μία μάζα που άλλαζε θέση λόγω μετακίνησης της από την αδράνεια.



Σχήμα : Μηχανικός αισθητήρας μεταβολής της κινητικής καταστάσεως σώματος

Οι σύγχρονοι όμως αισθητήρες λειτουργούν, όπως λειτουργεί και ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας που γνωρίσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την αρχή λειτουργίας του πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης, τη φυσική του μορφή σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα και τον τελικό αισθητήρα με την θήκη και το βύσμα σύνδεσης.

Η μάζα M, που βρίσκεται στερεωμένη πάνω στον πιεζοκρύσταλλο, όταν κινηθεί λόγω αδρανείας, πιέζει τον κρύσταλλο και προκαλεί την εμφάνιση μίας τάσης στην έξοδο του, που είναι ανάλογη της επιτάχυνσης ή της επιβράδυνσης. Αν τοποθετηθούν κατάλληλα δύο ή τρεις τέτοιοι αισθητήρες είναι δυνατόν να ανιχνευθούν επιταχύνσεις



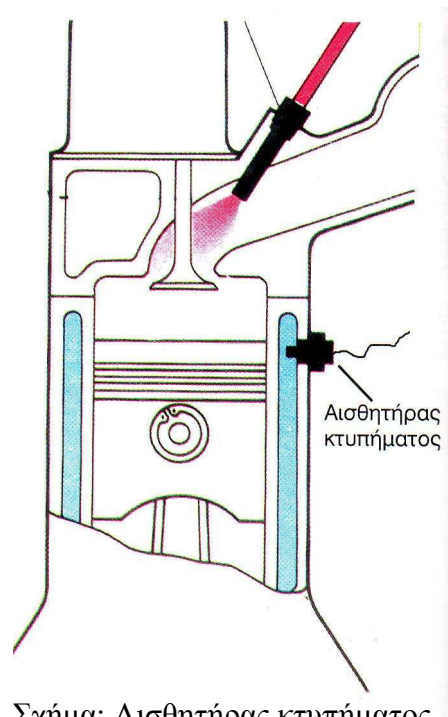
Σχήμα : Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης

και επιβραδύνσεις προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν να ενεργοποιούνται για παράδειγμα, μόνον οι πλευρικοί αερόσακοι σε μία πλευρική σύγκρουση του οχήματος. Πολύ σημαντικός είναι όμως ο τρόπος της στερέωσης του αισθητήρα πάνω στο όχημα, έτσι ώστε μια ελαστική στερέωση να μην απορροφά μέρος της μετακίνησης από την αδράνεια.

### Αισθητήρας κτυπήματος

Ο ρόλος του αισθητήρα κτυπήματος είναι να εντοπίζει την ύπαρξη φαινομένων κακής καύσης, όπως αυτανάφλεξη ή προανάφλεξη που δημιουργούν έντονη υπερθέρμανση του κινητήρα, αλλά ακόμα και καταστροφή των εμβόλων.

Ο αισθητήρας κτυπήματος είναι ένας μικρός πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας πίεσης, την λειτουργία του οποίου αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Είναι φθηνός αλλά ιδανικός για την εφαρμογή αυτή. Το σήμα εξόδου του είναι αναλογικό και χρησιμοποιείται από μικροϋπολογιστή για την ρύθμιση του χρονισμού ανάφλεξης.



Σχήμα: Αισθητήρας κτυπήματος



Σχήμα : Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας κτυπήματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### 9.1 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Οι περισσότεροι αισθητήρες παράγουν στην έξοδο τους ένα ηλεκτρικό σήμα. Για να μπορούν αυτά τα σήματα να αξιοποιηθούν, θα πρέπει να είναι συμβατά με τα συστήματα ελέγχου των ενδεικτών ή καταγραφικών συσκευών. Η τροποποίηση σήματος είναι γνωστή ως ρύθμιση σήματος (signal conditioning) και οι συσκευές προσαρμογής ως συσκευές διασύνδεσης (interfaces).

Χρησιμοποιούμε διάφορες τεχνικές για να διασφαλιστεί ότι το μέγιστο σήμα ή η μέγιστη ισχύς θα μεταφέρεται από έναν αισθητήρα στη συσκευή απεικόνισης ή καταγραφής. Όταν συμβαίνει αυτό, λέμε ότι έχουμε προσαρμογή (matching) και τότε ο αισθητήρας και η συσκευή είναι προσαρμοσμένα.

Σε πολλές περιπτώσεις αρκούν τεχνικές που χρησιμοποιούν παθητικά κυκλώματα (passive circuits), τα οποία λαμβάνουν ενέργεια από το σύστημα με το οποίο συνδέονται.

Παθητικά κυκλώματα ονομάζονται τα κυκλώματα που αποτελούνται αποκλειστικά από παθητικά στοιχεία, δηλαδή αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία, τα οποία δεν έχουν δική τους πηγή ισχύος.

Οι παθητικές τεχνικές δεν μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις απαιτήσεις που υπάρχουν για ρύθμιση των σημάτων των αισθητήρων και την περαιτέρω διασύνδεση τους. Στην πράξη, οι παθητικές τεχνικές συνδυάζονται συνήθως με ενεργητικές τεχνικές.

Ενεργητικές συσκευές είναι ηλεκτρικά στοιχεία, όπως δίοδοι, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα, που μπορούν να ελέγχουν τάσεις και ρεύματα. Επομένως μπορούν να αλλάζουν το μέγεθος τάσεων ή ρευμάτων ή να εκτελούν λειτουργίες διακόπτη στα κυκλώματα.

Την ενίσχυση ενός σήματος τάσης ή ρεύματος χωρίς να αλλάζει τα βασικά χαρακτηριστικά τους αναλαμβάνει μια ηλεκτρονική συσκευή που ονομάζεται ενισχυτής (amplifier). Ένας ενισχυτής είναι κατασκευασμένος από ενεργητικά και παθητικά στοιχεία και έχει τροφοδοσία ισχύος ξεχωριστή από το σήμα.

Οι ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι εξής:

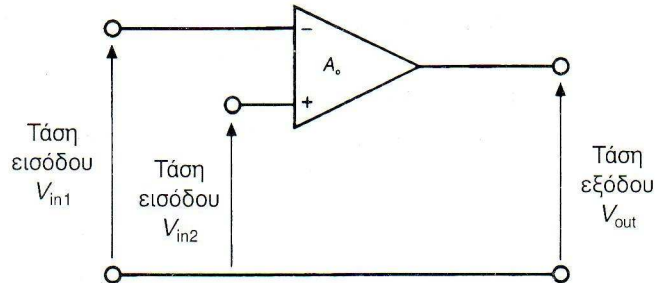
- Ενισχυτής διαφοράς
- Ενισχυτής αντιστροφής και μη αντιστροφής
- Ενισχυτής αθροίσεως
- Ενισχυτής ολοκληρώσεως
- Ενισχυτής διαφόρισης

Το κέρδος ή απολαβή (A) ενός ενισχυτή (gain), ορίζεται ως το ποσό αύξησης του σήματος, δηλαδή ως το πηλίκο του σήματος εξόδου προς το σήμα εισόδου. Εάν το κέρδος είναι μεγαλύτερο από 1, τότε η έξοδος είναι μεγαλύτερη από την είσοδο.

## 9.2 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

### Ενισχυτής διαφοράς

Στο παρακάτω σύστημα εικονίζεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή διαφοράς.



Σχήμα : Κύκλωμα ενισχυτή διαφοράς

Το κύκλωμα αυτό συγκρίνει τις δύο τάσεις  $V_{in1}$  και  $V_{in2}$  παράγει μία έξοδο με πολικότητα που δείχνει ποια από τις δύο είναι η μεγαλύτερη. Όπου  $A_o$  είναι η απολαβή του ενισχυτή.

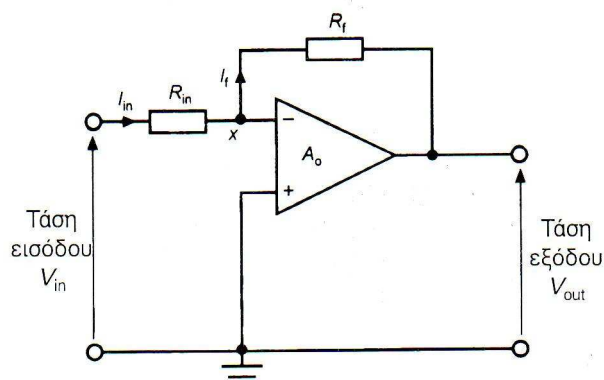
$$V = A_o(V_{in2} - V_{in1})$$

### Ενισχυτής αντιστροφής

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή αντιστροφής (inverting amplifier). Η τάση εισόδου συνδέεται με την αντιστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή (-) διαμέσου μίας αντίστασης  $R_{in}$ . Με την συνδεσμολογία αυτή η τάση εξόδου  $V_{out}$  θα είναι αντίστροφη της τάσης εισόδου  $V_{in}$ . Τα πλάτος των  $V_{out}$  και  $V_{in}$  θα είναι το ίδιο, εάν η αντίσταση ανάδρασης  $R_f$  έχει την ίδια τιμή με την αντίσταση  $R_{in}$ . Όπου  $A$  είναι η απολαβή του ενισχυτή.

Ισχύει :

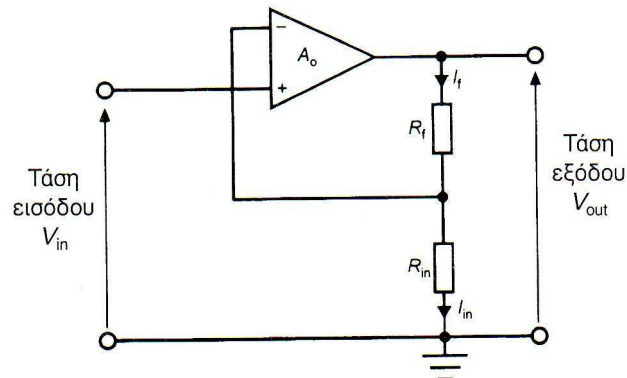
$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}}$$



Σχήμα : Ενισχυτής αντιστροφής

### Ενισχυτής μη-αντιστροφής

Το παρακάτω σχήμα εικονίζει έναν τελεστικό ενισχυτή μη αντιστροφής (non-inverting amplifier).



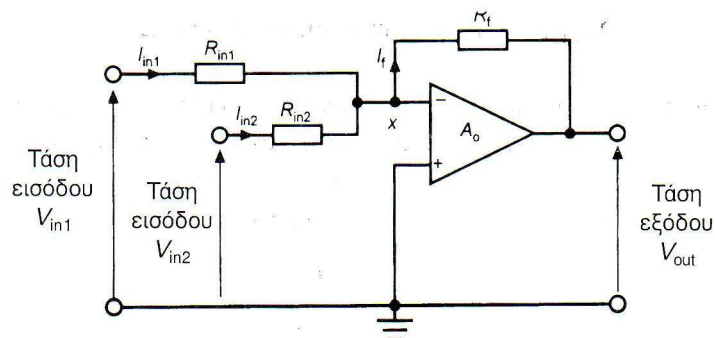
Σχήμα : Ενισχυτής μη-αντιστροφής

Η τάση εισόδου συνδέεται με την μη αναστρέφουσα είσοδο του ενισχυτή (+). Με την παραπάνω συνδεσμολογία η τάση εξόδου  $V_{out}$  είναι ταυτόσημη με την τιμή της  $V_{in}$  όταν η αντίσταση ανάδρασης  $R_f$  έχει την ίδια τιμή με την αντίσταση  $R_{in}$ . Η απολαβή του κυκλώματος δίνεται από την σχέση:

$$A = 1 + (R_f/R_{in})$$

### Ενισχυτής άθροισης

Ο ενισχυτής άθροισης (summing amplifier) είναι ένας ενισχυτής αντιστροφής με πολλές εισόδους. Στην απλή του μορφή προσθέτει τις τιμές των τάσεων εισόδου και αντιστρέφει το άθροισμα που προκύπτει. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος ενισχυτής.



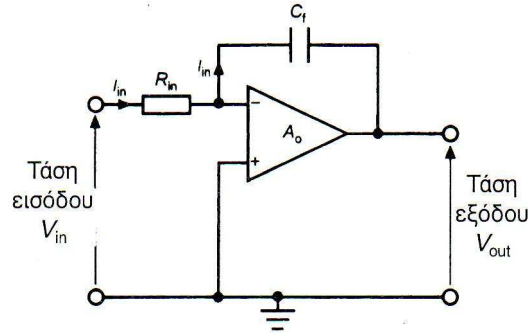
Σχήμα : Ενισχυτής άθροισης

Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μία τάση, της οποίας το πλάτος είναι ίσο με τη διαφορά των πλατών των δύο επιμέρους σημάτων, επειδή αυτά έχουν αντίθετες φάσεις. Η τάση εξόδου θα είναι ανεστραμμένη ως προς το σήμα εισόδου με το μεγαλύτερο πλάτος.

$$V_{out} = -(V_{in1} + V_{in2})$$

## Ενισχυτής ολοκλήρωσης

Ο ενισχυτής ολοκλήρωσης (integrating amplifier) μοιάζει με τον ενισχυτή αντιστροφής με την διαφορά ότι στο κλάδο ανάδρασης δεν έχει αντίσταση, αλλά έναν πυκνωτή  $C_f$ . Το κύκλωμα ενός τέτοιου ενισχυτή εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ενισχυτής ολοκλήρωσης

Το κύκλωμα αυτό εκτελεί άθροιση των τιμών της τάσης  $V_{in}$  που έχει στην είσοδο του για ένα χρονικό διάστημα  $t$ , εκτελεί δηλαδή την πράξη της ολοκλήρωσης. Άρα η τάση εξόδου δίνεται από την σχέση :

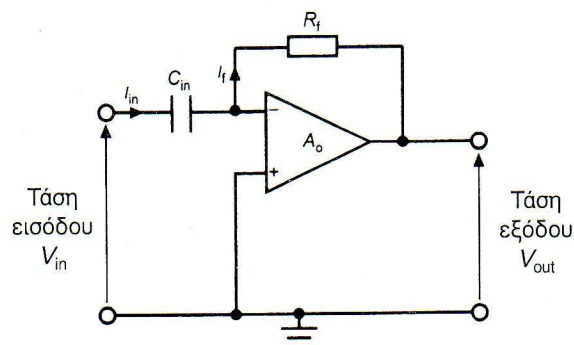
$$V_{out} = - \frac{1}{R_{in} C_f} \int V_{in} dt$$

Εάν στο κύκλωμα του σχήματος η τάση εισόδου είναι σταθερή, τότε η τάση εξόδου δίνεται από την σχέση

$$V_{out} = - \left( \frac{V_{in}}{R_{in} C_f} \right) \cdot x t$$

## Ενισχυτής διαφόρισης

Ο ενισχυτής διαφόρισης (differentiating amplifier) είναι ίδιος με τον ενισχυτή ολοκλήρωσης, με την μόνη διαφορά ότι έχουν εναλλαχθεί οι θέσεις της αντίστασης και του πυκνωτή. Το κύκλωμα ενός τέτοιου ενισχυτή εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ενισχυτής διαφόρισης

$$\text{Ισχύει : } V_{out} = - R_f C_{in} \frac{dV_{in}}{dt}$$

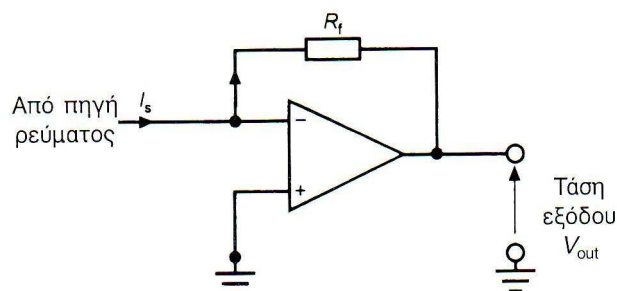
Εάν η τάση εισόδου είναι σταθερή, η τάση εξόδου θα είναι μηδέν. Ενώ εάν η τάση εισόδου αυξάνει με σταθερό ρυθμό, η τάση εξόδου θα παραμείνει σε μία σταθερή τιμή.

$$V_{out} = - \frac{V_{in} \times C_{in} \times R_f}{t}$$

### Μετατροπέας ρεύματος σε τάση

Μερικά συστήματα μέτρησης παράγουν σήματα εξόδου στα οποία η μεταβολή του ρεύματος είναι ανάλογη της μεταβολής της μετρούμενης ποσότητας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η φωτοδίοδος, η οποία παράγει ρεύμα ανάλογο της φωτεινής έντασης που προσπίπτει σε αυτήν. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται ένας μετατροπέας ρεύματος σε τάση (current to voltage converter). Όλο το παρεχόμενο ρεύμα περνά μέσα από την αντίσταση ανάδρασης  $R_f$  και η αντιστρέφουσα είσοδος τίθεται σε εν δυνάμει γείωση. Άρα η τάση εξόδου θα είναι :

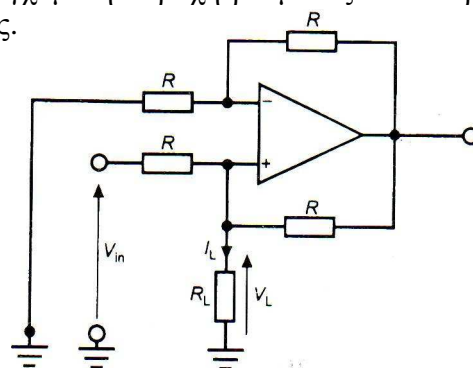
$$V_{out} = I_s R_f$$



Σχήμα : Μετατροπέας ρεύματος σε τάση

### Μετατροπέας τάσης σε ρεύμα

Ο μετατροπέας τάσης σε ρεύμα (voltage to current converter) χρησιμοποιείται όταν πρέπει να έχουμε μία ελεγχόμενη παροχή ρεύματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος μετατροπέας.



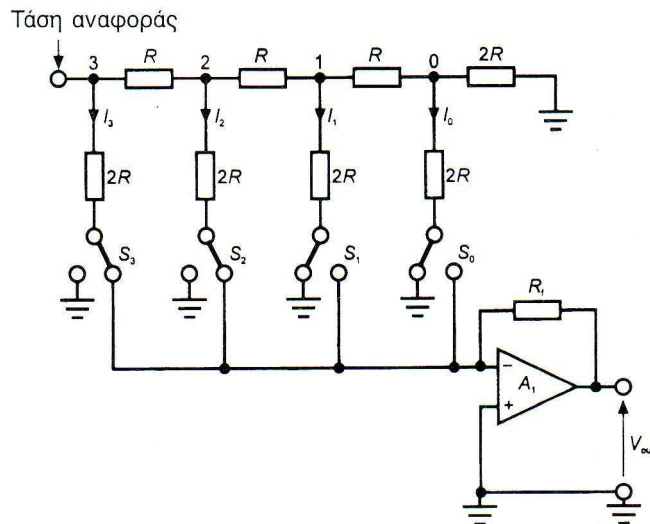
Σχήμα : Μετατροπέας τάσης σε ρεύμα

Το ρεύμα φορτίου είναι :  $I_L = \frac{V_{in}}{R}$

### Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό

Ο μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό (digital to analogue converter) χρησιμοποιείται όταν ένας υπολογιστής ή κάποια άλλη ψηφιακή συσκευή εξόδου πρέπει να ελέγχει μια αναλογική συσκευή, όπως μια αντλία ή βαλβίδα.

Η συνδεσμολογία ενός τέτοιου μετατροπέα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από ένα μετατροπέα ρεύματος σε τάση A1 και ένα κύκλωμα που είναι γνωστό ως κλιμακωτό κύκλωμα (ladder network). Το κλιμακωτό κύκλωμα αντιπροσωπεύει τα επιμέρους bit ενός ψηφιακού σήματος. Κάθε bit παριστάνεται ως ένα ρεύμα που διαβιβάζεται στην είσοδο ενός μετατροπέα ρεύματος σε τάση και τα ρεύματα αθροίζονται.



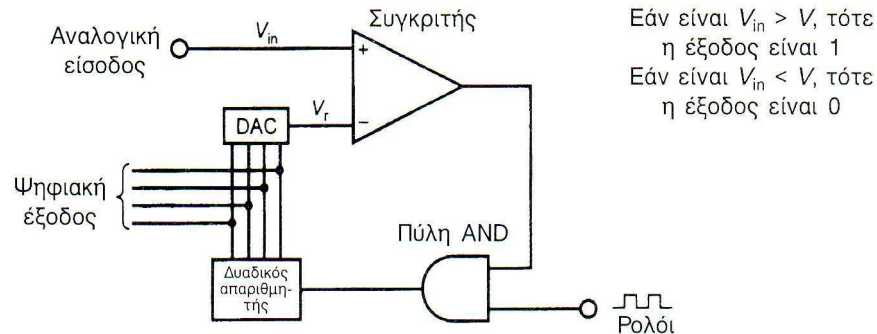
Σχήμα : Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό

Όταν ένας από τους διακόπτες είναι κλειστός, αντιστοιχεί στο λογικό επίπεδο 1, ενώ όταν είναι ανοικτός στο λογικό επίπεδο 0. Ο διακόπτης S<sub>3</sub> αποτελεί το πιο σημαντικό bit και ο διακόπτης S<sub>0</sub> το λιγότερο σημαντικό bit. Επομένως η κατάσταση των διακοπών αντιπροσωπεύει τον δυαδικό αριθμό 1100.

### Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό

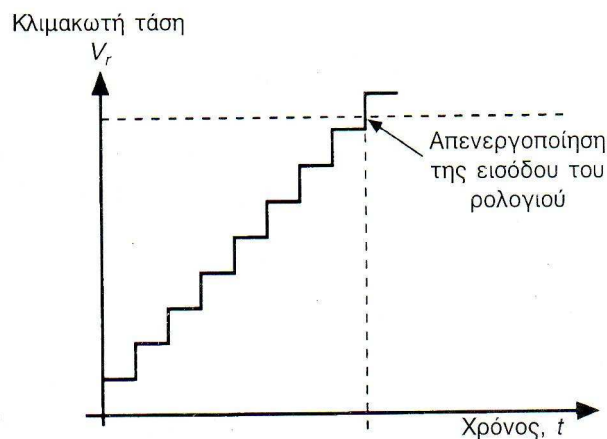
Ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (analogue to digital converter) χρησιμοποιείται όταν η αναλογική έξοδος από έναν αισθητήρα πρέπει να εμφανιστεί από έναν υπολογιστή, ένα σύστημα συλλογής δεδομένων ή κάποιο άλλο σύστημα που δέχεται ψηφιακή είσοδο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου μετατροπέα που παράγει κλιμακωτή τάση.





Σχήμα : Μετατροπείας αναλογικού σε ψηφιακό

Το αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε έναν ψηφιακό αριθμό που μετατρέπεται με την σειρά του σε ένα αναλογικό πάλι σήμα. Όταν αυτό το αναλογικό σήμα είναι ταυτόσημο με το αρχικό, η διαδικασία σταματά και διαβιβάζεται η ψηφιακή τιμή της αναλογικής εισόδου.



Σχήμα : Μετατροπείας αναλογικού σε ψηφιακό που παράγει κλιμακωτή τάση

Όταν η τάση  $V_{in}$  είναι μεγαλύτερη της κλιμακωτής τάσης  $V_r$ , τότε η έξοδος του συγκριτή είναι ένα λογικό 1. Η πύλη AND αποστέλλει έναν παλμό στο δυαδικό απαριθμητή που είναι σύγχρονος με το εξωτερικό ρολόι του κυκλώματος. Η έξοδος του απαριθμητή αυξάνει κατά ένα σε κάθε παλμό που στέλνει το ρολόι. Η ψηφιακή έξοδος μετατρέπεται εκ νέου σε αναλογικό σήμα και διαβιβάζεται πίσω στον συγκριτή και η διαδικασία συνεχίζεται, έως ότου η τάση  $V_r$  γίνει μεγαλύτερη από την τάση εισόδου  $V_{in}$ . Η έξοδος του συγκριτή που έχει δημιουργηθεί είναι τότε ισοδύναμη της αναλογικής εισόδου  $V_{in}$ .

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράψαμε διάφορους τρόπους ρύθμισης σήματος και τεχνικές διασύνδεσης χρησιμοποιώντας τελεστικούς ενισχυτές. Υπάρχουν διαθέσιμες πολλές άλλες συνδεσμολογίες και τεχνικές που καλύπτουν τις ευρείες απαιτήσεις για ρύθμιση των σημάτων των διαφόρων ανιχνευτών. Υπάρχουν και άλλα είδη ενισχυτών και συσκευών που μπορούν μερικές φορές να χρησιμοποιηθούν για να επιτύχουν τα ίδια αποτελέσματα. Εντούτοις, τα κυκλώματα των τελεστικών ενισχυτών είναι χαμηλού κόστους, εύκολα κατασκευάσιμα και σχετικά απλά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### 10.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το τελικό στοιχείο κάθε συστήματος, μέτρησης είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των μετρημένων τιμών ή την καταγραφή τους, ώστε να αποθηκεύονται και να αναλύονται σε κάποια μεταγενέστερη χρονική στιγμή.

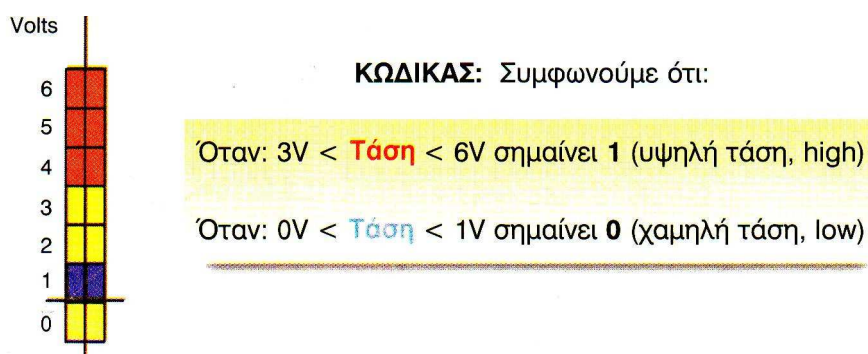
Πολλοί αισθητήρες εμφανίζουν άμεσα τις μετρούμενες τιμές, επειδή διαθέτουν έναν ενδείκτη (display) εκ κατασκευής. Τέτοιοι είναι τα θερμόμετρα υγρού, οι ζυγοί ελατηρίου, τα μανόμετρα κ.α. Οι περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούν κάποια μορφή επιπρόσθετου ενδείκτη ή συσκευή καταγραφής, όπως είναι τα βολτόμετρα, τα αμπερόμετρα, οι παλμογράφοι, τα καταγραφικά όργανα και οι διατάξεις συλλογής δεδομένων. Όπως έχουμε δει, σχεδόν όλες οι μετρούμενες ποσότητες μπορούν να παρασταθούν με την μορφή ηλεκτρικών σημάτων επιλέγοντας έναν κατάλληλο μετατροπέα και ρυθμίζοντας το σήμα κατάλληλα.

Η έξοδος των περισσότερων ηλεκτρικών συσκευών έχει τη μορφή ενός ηλεκτρικού σήματος. Στα συστήματα μέτρησης θα συναντήσουμε δύο τύπους σήματος, το αναλογικό (analogue) και το ψηφιακό (digital).

Αναλογικό ονομάζεται το σήμα όταν μεταβάλλεται χρονικά με τρόπο ανάλογο προς τη μετρούμενη ποσότητα. Ψηφιακό σήμα ονομάζεται η αναπαράσταση ενός αριθμού με μία σειρά διακριτών παλμών ή με την παρουσία και απουσία ενός σήματος.

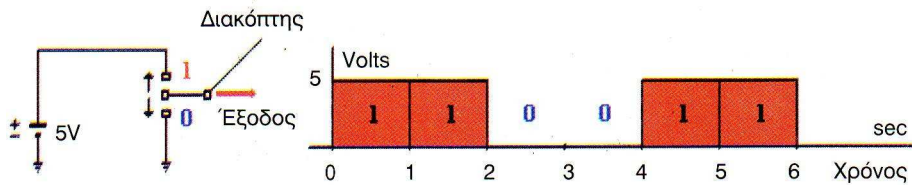
Στην περίπτωση που μία μεταβλητή παίρνει περισσότερες από δύο συνεχόμενες τιμές λέγεται αναλογική μεταβλητή, όπως είναι για παράδειγμα η θερμοκρασία ενός σώματος.

Όταν μια μεταβλητή μπορεί να πάρει δύο μόνο τιμές, λέγεται ψηφιακή. Σε αυτές τις δύο τιμές μπορούμε να δώσουμε διάφορα ονόματα όπως 1/0, ON/OFF, υψηλό / χαμηλό, κ.τ.λ. Μια τέτοια συμφωνία ή κώδικας παράστασης μιας ψηφιακής μεταβλητής είναι αυτή που χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές τιμές μιας τάσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Τυπικές περιοχές τάσης που παριστάνουν ψηφιακά 1 και 0

Στη συνέχεια, οι διαδοχικές εναλλαγές της τάσης, δηλαδή το σήμα μπορεί να μεταδοθεί μέσα από ένα ηλεκτρικό καλώδιο και με τον τρόπο αυτό να μας δίνει πληροφορίες για την κατάσταση που βρίσκεται μια μεταβλητή, όπως για παράδειγμα η θέση ενός διακόπτη στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Παράδειγμα ψηφιακού σήματος

Παρατηρώντας την κυματομορφή στο παραπάνω σχήμα συμπεραίνουμε ότι ο διακόπτης ήταν στη θέση 0 (ανοικτός) μεταξύ του 2<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup> δευτερολέπτου, γιατί στην έξοδο του συστήματος είχαμε τάση 0 V.

Υπάρχουν σήμερα πολλά είδη συσκευών που εκτελούν απεικόνιση και καταγραφή σημάτων. Μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες.

- Αναλογικοί ενδείκτες
- Ψηφιακοί ενδείκτες
- Μονάδες καταγραφής
- Υπολογιστές και διατάξεις συλλογής δεδομένων

## 10.2 Αναλογικοί ενδείκτες

Ενδείκτης (display) ονομάζεται μία συσκευή που απεικονίζει μία στιγμιαία ορατή ένδειξη ενός σήματος που προέρχεται από έναν αισθητήρα αλλά δεν την αποθηκεύει.

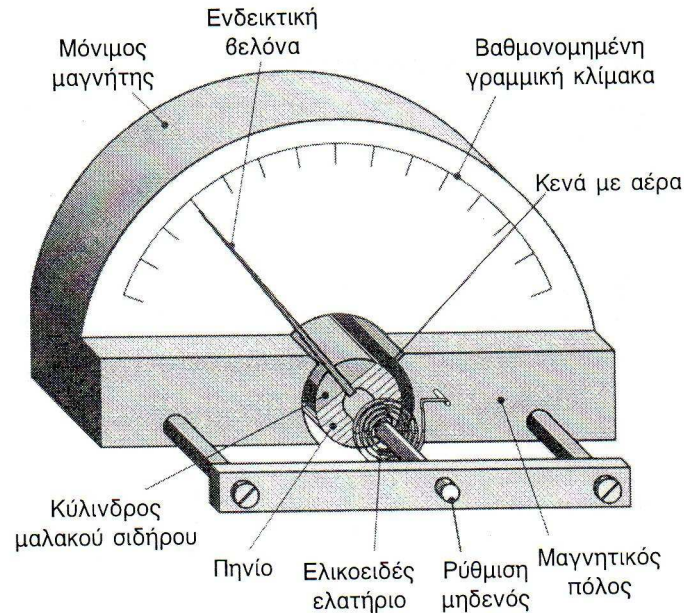
### Μετρητής κινητού πηνίου

Ο μετρητής κινητού πηνίου (moving-coil meter) είναι στην ουσία η βάση των αναλογικών αμπερομέτρων, βολτομέτρων και πολυμέτρων.

Η βασική κατασκευή ενός μετρητή κινητού πηνίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτός αποτελείται από ένα κύλινδρο από μαλακό σίδηρο, γύρω από τον οποίο έχει τυλιχθεί ένα πηνίο. Το σύστημα τοποθετείται μεταξύ δύο ανόμοιων μαγνητικών πόλων και συνδέεται μέσω ενός μηχανισμού με μία ενδεικτική βελόνα. Το πηνίο μπορεί να περιστρέφεται μέσα στον κενό χώρο μεταξύ των δύο μαγνητικών πόλων, ο οποίος περιέχει αέρα. Οι μαγνητικοί πόλοι έχουν τέτοιο σχήμα, ώστε να δημιουργείται ένα ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο σε κενό ανάμεσα τους.

Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, υπάρχει αλληλεπίδραση με την μαγνητική ροή του μαγνητικού πεδίου και το πηνίο με τον κύλινδρο και την βελόνα περιστρέφεται. Η κίνηση της βελόνας είναι ανάλογη του μεγέθους της τάσης ή του ρεύματος που μετρά το όργανο. Ένα ελικοειδές ελατήριο εμποδίζει τη συνεχή περιστροφή του κυλίνδρου και του πηνίου και τα επαναφέρει στη μηδενική θέση. Όταν η ροπή που παράγεται από το ελατήριο γίνει ίση με την ροπή που παράγεται από το πηνίο, τότε η βελόνα ακινητεί σε κάποια θέση, η οποία με την βοήθεια μίας κατάλληλα

βαθμονομημένης κλίμακας αντιστοιχεί στην τιμή του ρεύματος ή της τάσης που μετριέται. Οι μετρητές κινητού πηνίου συνδέονται με την έξοδο του αισθητήρα με την βοήθεια ακροδεκτών ή μπορεί να είναι μόνιμα ενσωματωμένοι στο περίβλημά τους.



Σχήμα : Μετρητής κινητού πηνίου

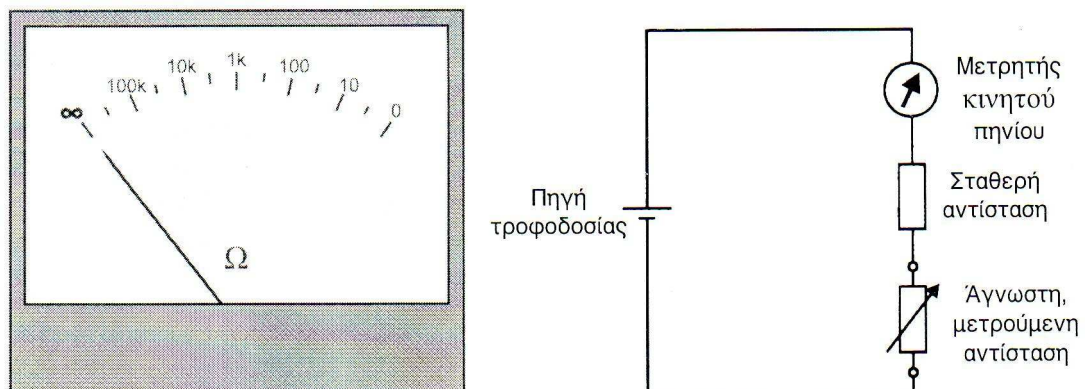
Η απόκρισή τους είναι γενικά βραδεία και συνήθως μπορούν να μετρούν συνεχείς τάσεις και ρεύματα, αν και υπάρχει δυνατότητα μέτρησης διπολικών σημάτων.

### Μετρητής αντίστασης

Ο μετρητής αντίστασης (resistance meter) είναι επίσης γνωστός ως ωμόμετρο (ohmmeter) και είναι ένα όργανο που μπορεί να μετρά την τιμή της ηλεκτρικής αντίστασης.

Η βασική του μορφή αποτελείται από ένα μετρητή κινητού πηνίου, ο οποίος έχει ενσωματωμένη τροφοδοσία. Η αντίσταση που πρέπει να μετρηθεί συνδέεται με την βοήθεια δύο ακροδεκτών.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα ενός μετρητή αντίστασης.



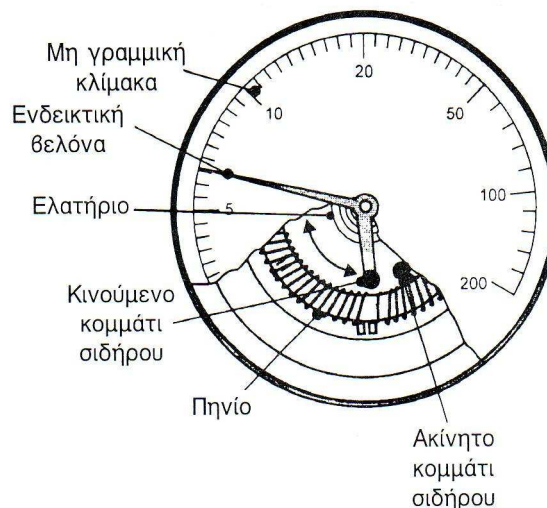
Σχήμα: Μετρητής αντίστασης και το κύκλωμα του.

Η αντίσταση που πρέπει να μετρηθεί τοποθετείται δε σειρά με τον μετρητή κινητού πηνίου. Το ρεύμα που διαρρέει το όργανο είναι αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης που μετριέται, και έτσι ο μετρητής μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες αντίστασης (ohms). Η σύνδεση του ενός ακροδέκτη του οργάνου με τον άλλο ακροδέκτη θα προκαλέσει απόκλιση της βελόνας, και αυτή η κατάσταση αντιστοιχεί σε άγνωστη αντίσταση μηδέν. Όταν οι ακροδέκτες δε συνδέονται πουθενά, η ένδειξη του οργάνου θα είναι άπειρο ( $\infty$ ). Αυτό σημαίνει ότι η κλίμακα των μετρητών αντίστασης έχει αντίθετη κατεύθυνση από τις κλίμακες ρεύματος και τάσης.

### **Μετρητής κινητού οπλισμού**

Εξωτερικά οι μετρητές κινητού οπλισμού (moving iron meter) μοιάζουν με τους μετρητές κινητού πηνίου. Εντούτοις, η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα κομμάτι μαλακού σιδήρου μαγνητίζεται λόγω κάποιου ρεύματος, μπορεί να ασκήσει ελκτικές ή απωθητικές δυνάμεις.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας τέτοιος μετρητής. Αποτελείται από ένα σταθερό πηνίο και δύο κομμάτια μαλακού σιδήρου, τα οποία μαγνητίζονται όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα.



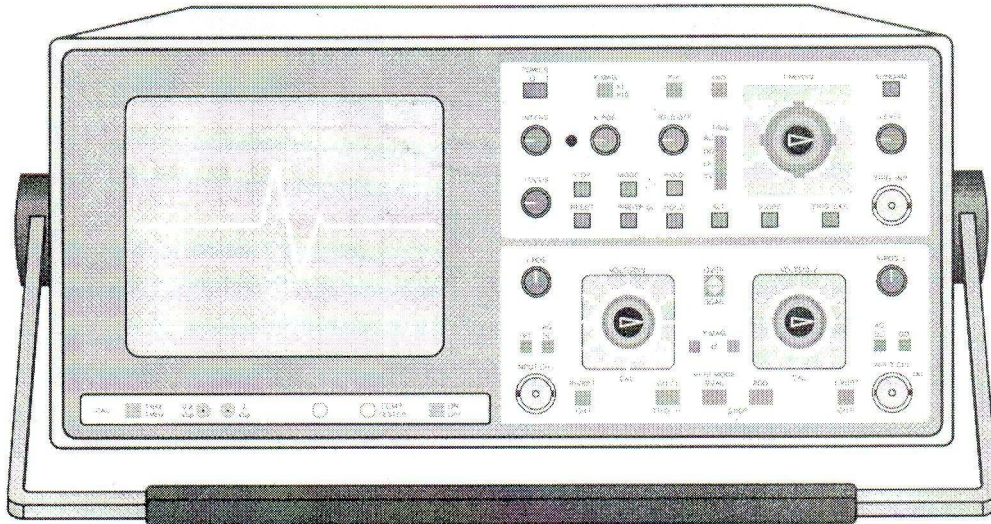
Σχήμα : Μετρητής κινητού οπλισμού

Το ένα κομμάτι σιδήρου είναι ακλόνητα στερεωμένο και το άλλο αναρτάται από ένα μηχανισμό που μπορεί να περιστρέφεται και συνδέεται με μία ενδεικτική βελόνα. Όταν μαγνητιστούν, τα δύο κομμάτια σιδήρου απωθούνται, και έτσι η ενδεικτική βελόνα κινείται. Ένα ελατήριο αντιτίθεται στην κίνηση της βελόνας, έτσι όταν η ροπή επαναφοράς που δημιουργεί το ελατήριο γίνει ίση με την ροπή που δημιουργεί η απωθητική, τότε η βελόνα ηρεμεί. Με την βοήθεια κατάλληλων βαθμονομημένων κλιμάκων σε μονάδες ρεύματος και τάσης, μπορούμε από την θέση της βελόνας να προσδιορίσουμε την τιμή του ζητούμενος ρεύματος και τάσης.

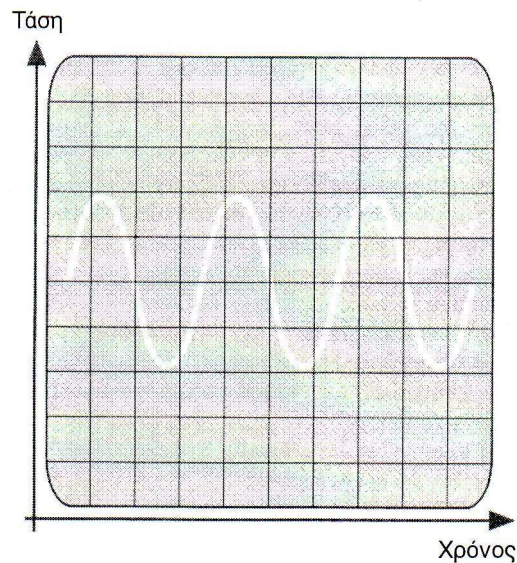
Οι μετρητές κινητού οπλισμού μετρούν συνεχείς και εναλλασσόμενες τάσεις και ρεύματα.

## Παλμογράφος

Ο παλμογράφος (cathode ray oscilloscope), χρησιμοποιείται για την λεπτομερή παρουσίαση των ηλεκτρικών σημάτων που παράγουν οι διάφοροι μετατροπείς. Ο παλμογράφος εμφανίζει τα ηλεκτρικά σήματα ως κυματομορφές με εξαιρετική ακρίβεια και η εξωτερική του μορφή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Εμπρόσθια όψη παλμογράφου

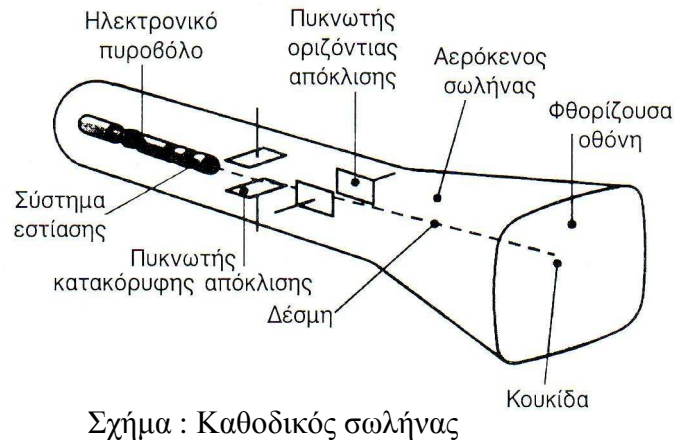


Σχήμα : Οθόνη παλμογράφου

Το σήμα που εικονίζεται στην οθόνη του παλμογράφου έχει την μορφή ημιτόνου, επειδή σχεδιάζεται ως προς το χρόνο. Ο παλμογράφος εμφανίζει με αυτόν τον τρόπο τα ηλεκτρικά σήματα χρησιμοποιώντας έναν καθοδικό σωλήνα. Τέτοιος σωλήνας υπάρχει στις τηλεοράσεις και σε οθόνες υπολογιστών.

Το σήμα του μετατροπέα μεταφέρεται στον παλμογράφο με την βοήθεια ακροδεκτών, που συνδέονται στον παλμογράφο. Το σήμα του μετατροπέα διαβιβάζεται στον πυκνωτή κατακόρυφης απόκλισης, που αναγκάζει τη δέσμη να αποκλίνει κατά τη διεύθυνση  $y$ . Ταυτόχρονα μία κατάλληλα μεταβαλλόμενη τάση δημιουργείται από τα

εσωτερικά κυκλώματα του παλμογράφου και εφαρμόζεται στον πυκνωτή οριζόντιας απόκλισης. Η τάση αυτή αυξάνει γραμμικά και αναγκάζει τη δέσμη να κινείται οριζόντια και από αριστερά προς τα δεξιά, οπότε παρέχει ένα γραμμικό άξονα που μπορεί να βαθμολογηθεί σε μονάδες χρόνου. Η ταχύτητα κίνησης της κουκίδας που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα μπορεί να γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε να σχηματίζεται στην οθόνη μία συνεχής οριζόντια γραμμή.



Σχήμα : Καθοδικός σωλήνας

Η τάση που αυξάνει γραμμικά, μόλις φθάσει κάποια μέγιστη τιμή, μηδενίζεται και ξαναρχίζει να αυξάνει όπως προηγουμένως. Έχει την μορφή των δοντιών ενός πριονιού (πριονωτή τάση).

Ο παλμογράφος έχει περιστροφικούς επιλογείς για να ελέγχει την ευαισθησία των κλιμάκων  $x$  και  $y$ , την λαμπρότητα και την ευκρίνεια τους στην οθόνη του. Η οθόνη του έχει στο εξωτερικό της ένα πλέγμα με κλίμακα, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε τις συντεταγμένες  $x$  και  $y$  ενός σήματος. Έτσι προβάλλεται στην οθόνη μια κυματομορφή που αποτελεί ακριβή αναπαράσταση του σήματος ως προς το χρόνο. Από αυτή την κυματομορφή μπορούμε να υπολογίσουμε το σχήμα, τη συχνότητα, το πλάτος και κάθε άλλη πληροφορία για το σήμα.

Οι παλμογράφοι χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο εξοπλισμού και στην έρευνα και ανάπτυξη. Είναι σχετικά ακριβοί αλλά ικανότητα τους να παρέχουν μία ακριβή οπτική εικόνα ενός ηλεκτρικού σήματος τους καθιστά ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο απεικόνισης.

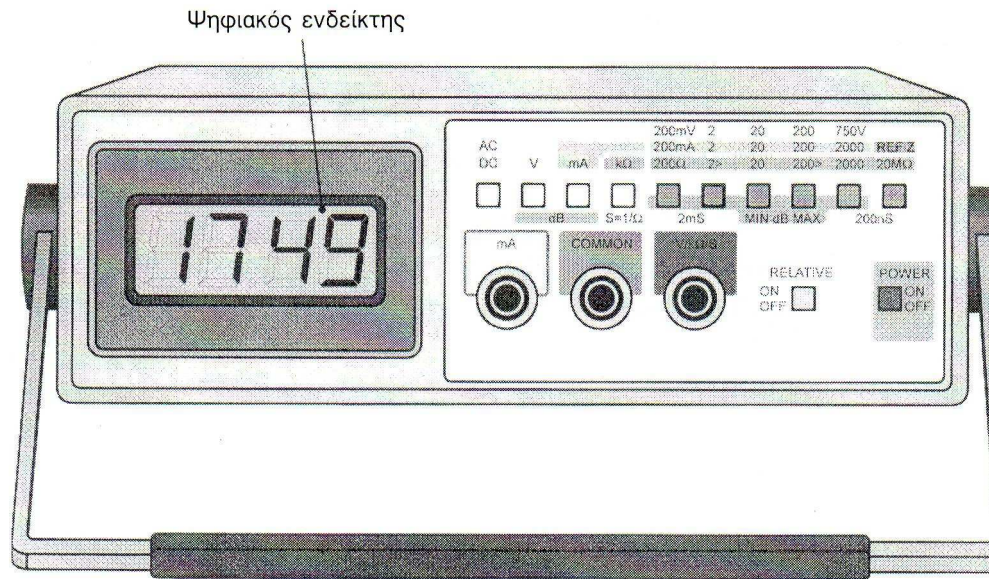
### 10.3 Ψηφιακοί ενδείκτες

Αντί να εμφανίζουν την τιμή εξόδου ενός μετατροπέα ως μία κυματομορφή ή ως απόκλιση μιας βελόνας, οι ψηφιακοί ενδείκτες εμφανίζουν την τιμή ως αριθμό. Η αριθμητική τιμή του ενδείκτη είναι ανάλογη του μεγέθους της μετρούμενης ποσότητας.

Οι ψηφιακοί ενδείκτες έχουν ανάλογες εφαρμογές με τους αναλογικούς, για παράδειγμα υπάρχουν ψηφιακά αμπερόμετρα, βολτόμετρα και πολύμετρα.

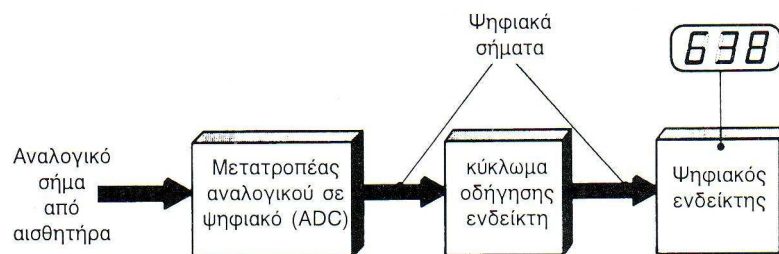
Όλοι οι ψηφιακοί μετρητές έχουν ένα ρυθμό ανανέωσης (refresh rate), δηλαδή ένα ρυθμό με τον οποίο ανανεώνουν την τιμή που εμφανίζει στον ενδείκτη. Αυτό δεν συμβαίνει στους αναλογικούς μετρητές καθώς αυτοί απεικονίζουν το σήμα διαρκώς, με αποτέλεσμα η τιμή του σήματος να ανανεώνεται συνεχώς.

Ένας ψηφιακός ενδείκτης εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Όργανο με ψηφιακό ενδείκτη

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει το σήμα εξόδου του μετατροπέα σε μία οπτική ψηφιακή αναπαράσταση χρησιμοποιεί ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (analogue to digital converter, ADC) και ένα κύκλωμα οδήγησης ενδείκτη (display driver), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



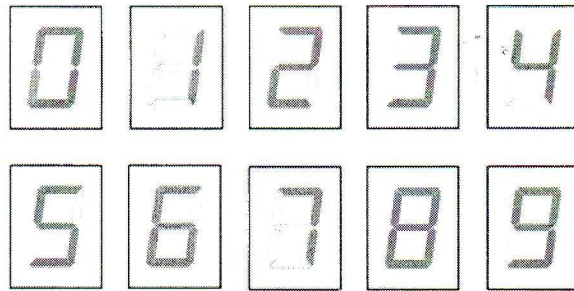
Σχήμα : Διάγραμμα ροής ενός ψηφιακού ενδείκτη

Ένας συνηθισμένος τρόπος σχηματισμού των χαρακτήρων σε ένα ψηφιακό ενδείκτη είναι ο ενδείκτης επτά τομέων (seven segment display).

Ο ενδείκτης επτά τομέων αποτελεί έναν τρόπο σχηματισμού των ψηφίων 0 έως 9 φωτίζοντας και σβήνοντας κατά επιλογή κάποια τμήματα, τα οποία είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να σχηματίζουν τον αριθμό 8.

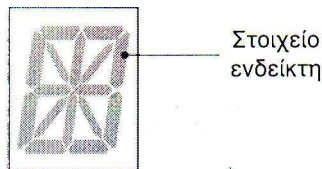
Ένας τέτοιος ενδείκτης εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, στο οποίο φαίνεται ποια τμήματα φωτίζονται και ποια σβήνονται, ώστε να σχηματίζονται τα ψηφία από 0 έως 9.





Σχήμα : Ο ενδείκτης επτά τομέων και ο τρόπος σχηματισμού των ψηφίων 0 έως 9

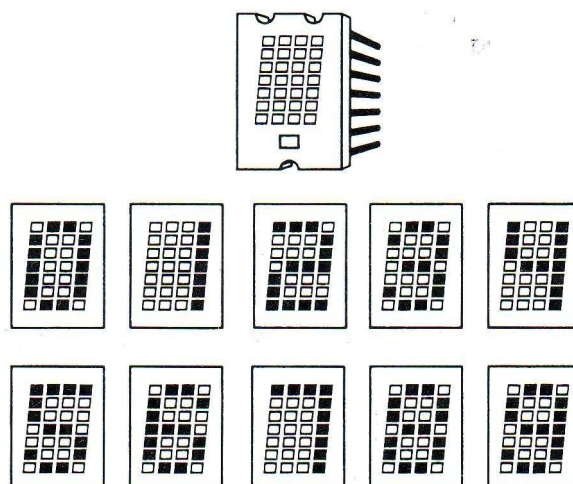
Ο ενδείκτης επτά τομέων περιορίζεται από το γεγονός ότι δεν μπορεί να απεικονίσει όλα τα γράμματα της αλφαβήτου. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιείται ο ενδείκτης δεκαέξι τομέων, που εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ενδείκτης δεκαέξι τομέων

### Δίοδος φωτοεκπομπής LED

Απλές δίοδοι LED χρησιμοποιούνται σε ψηφιακούς ενδείκτες για να δηλώσουν τις καταστάσεις ON/OFF. Για την απεικόνιση αριθμητικών ψηφίων οι δίοδοι φωτοεκπομπής χρησιμοποιούνται κατά ομάδες.



Σχήμα : Ενδείκτης LED

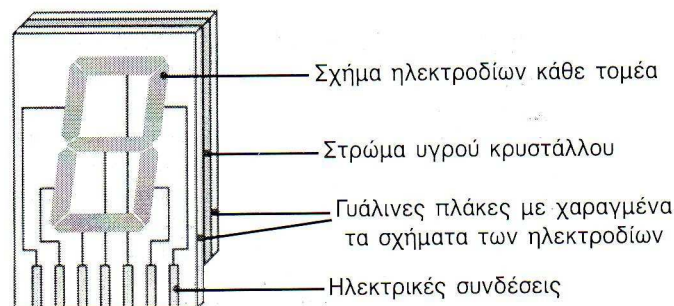
Σε έναν τέτοιο ενδείκτη οι δίοδοι οργανώνονται σε σειρές. Με επιλεκτική τροφοδοσία προκαλείται επιλεκτική φωτοβολία και έτσι σχηματίζονται οι διάφοροι

χαρακτήρες. Για να παραχθούν πιο περίπλοκοι χαρακτήρες, οι δίοδοι πρέπει να τοποθετηθούν σε πιο περίπλοκες σειρές.

Οι ενδείκτες LED χρησιμοποιούνται συχνά ως ενδεικτικές λυχνίες και σε ενδείκτες πινάκων ελέγχου. Όταν πολλές δίοδοι οργανωθούν σε ομάδες μπορούν να συγκροτήσουν έναν μεγάλο ενδείκτη, για λειτουργίες όπως είναι η απεικόνιση της θερμοκρασίας στους δρόμους.

### Ενδείκτες υγρών κρυστάλλων

Ένας ενδείκτης υγρών κρυστάλλων (liquid crystal display, LCD), επτά τομέων εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Ένας LCD επτά τομέων

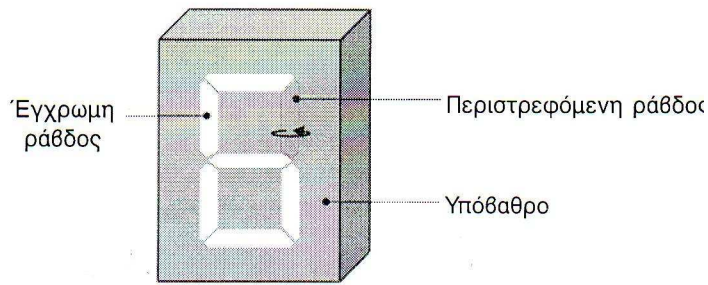
Κάθε τομέας αποτελείται από ένα υμένιο υγρού κρυστάλλου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο διαφανή ηλεκτρόδια. Εάν εφαρμοστεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, προκαλείται αλλαγή στο δείκτη διάθλασης του υγρού κρυστάλλου και το τμήμα εμφανίζεται μαύρο(αδιαφανές). Εάν ενεργοποιούμε επιλεκτικά διαφορετικούς συνδυασμούς τμημάτων, μπορούμε να σχηματίσουμε διαφορετικούς χαρακτήρες στον ενδείκτη. Αλφαριθμητικοί και πιο περίπλοκοι χαρακτήρες σχηματίζονται με ενδείκτες δεκαέξι τμημάτων ή πίνακες κουκίδων (dot-matrix arrays).

Το κύριο πλεονέκτημα των LCD είναι το σχετικά χαμηλό κόστος και η μικρή κατανάλωση ισχύος. Εντούτοις ο χρόνος απόκρισης τους είναι μεγάλος σε σχέση με τις δίοδους LED. Παρόλα αυτά οι ενδείκτες LCD αποτελούν σήμερα τους περισσότερο χρησιμοποιούμενους ψηφιακούς ενδείκτες, όπως για παράδειγμα τα ψηφιακά ρολόγια, τα ψηφιακά πολύμετρα, κ.α.

### Μηχανικοί ψηφιακοί ενδείκτες

Οι μηχανικοί ενδείκτες (mechanical digital displays), χρησιμοποιούνται εκεί όπου απαιτούνται ενδείκτες μεγάλου μεγέθους. Αποτελούνται από έναν ενδείκτη επτά ή δεκαέξι τομέων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι ράβδοι που σχηματίζουν κάθε τομέα έχουν μία όψη ίδιου χρώματος με το υπόβαθρο και μία όψη με έντονο διαφορετικό χρώμα. Επομένως περιστρέφοντας επιλεκτικά τις ράβδους μπορούμε να σχηματίζουμε στον ενδείκτη διάφορους χαρακτήρες.

Οι ράβδοι περιστρέφονται από μία ηλεκτρική συσκευή, που ονομάζεται *σωληνοειδές*. Αυτή η συσκευή είναι ένα μακρύ πηνίο, το οποίο προκαλεί μηχανική περιστροφή όταν διαρρέεται από ρεύμα.



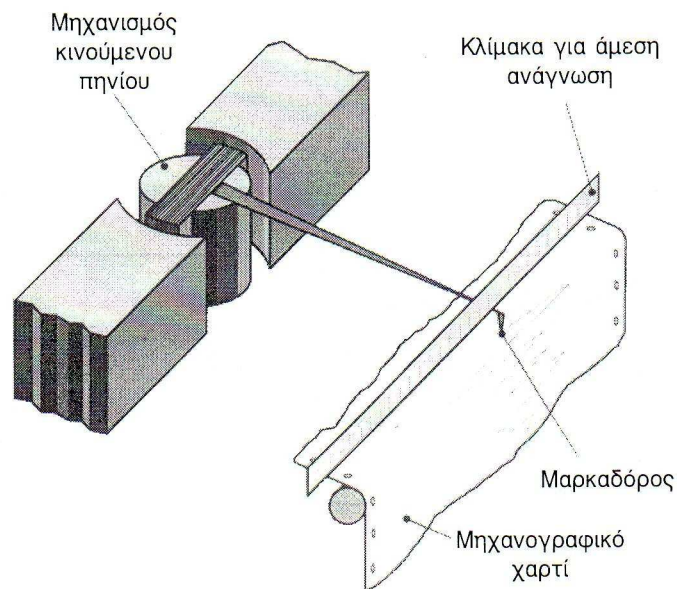
Σχήμα : Μηχανικός ψηφιακός ενδείκτης

Ο χρόνος απόκρισης τους είναι μεγάλος, καθώς η αλλαγή κατάστασης διαρκεί έως και μισό δευτερόλεπτο.

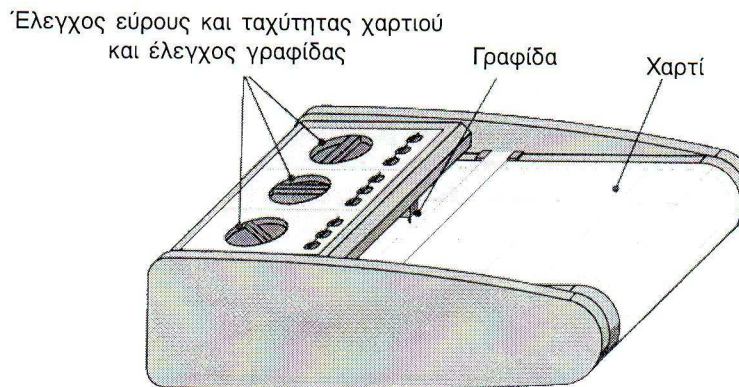
#### 10.4 Καταγραφικές συσκευές

Οι καταγραφικές συσκευές (recorders), είναι συσκευές που δημιουργούν μία μόνιμη καταγραφή μίας μετρούμενης τιμής ή σήματος. Αυτή μπορεί να γίνει με την μορφή μίας γραφικής παράστασης ή με εκτύπωση της τιμής σε μία σελίδα χαρτιού, καθώς και με την μορφή αναλογικού ή ψηφιακού σήματος, το οποίο αποθηκεύεται σε μαγνητική ταινία, δισκέτα, μνήμη.

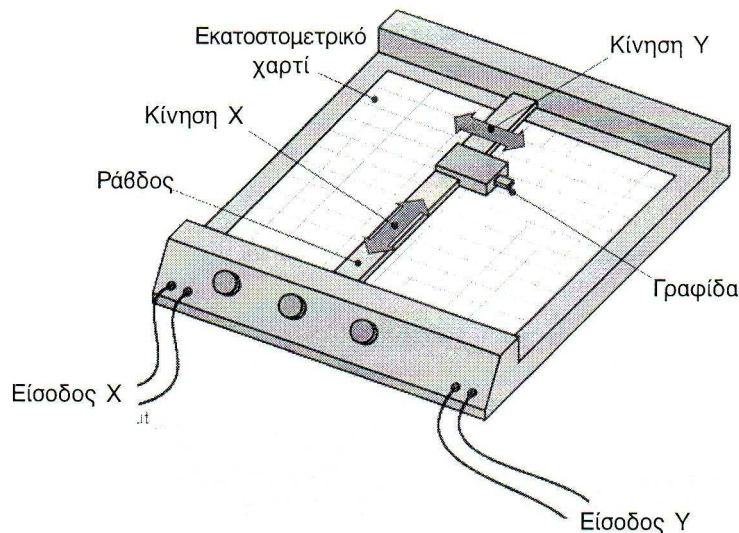
Παρακάτω παραθέτουμε μερικές από αυτές τις συσκευές.



Σχήμα : Καταγραφική συσκευή κινητού πηνίου



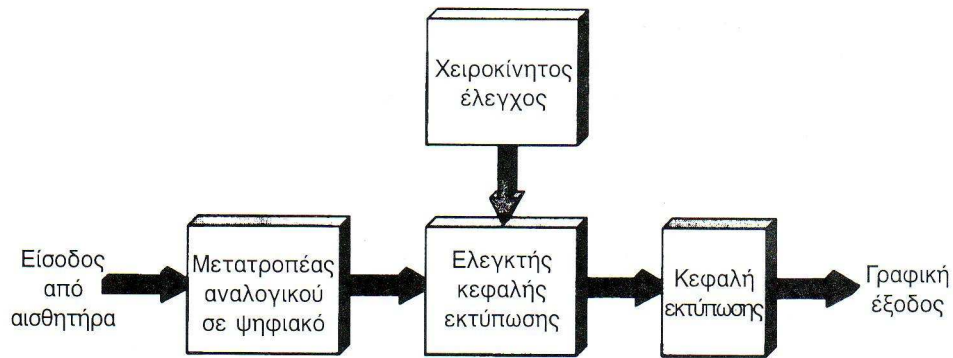
Σχήμα : Καταγραφική συσκευή σερβομηχανισμού



Σχήμα : Σχεδιογράφος X,Y

### Θερμικοί καταγραφείς

Οι θερμικοί καταγραφείς (thermal array recorders) καταγράφουν δεδομένα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των ημιαγωγών. Με την βοήθεια αυτής της τεχνολογίας πολλά μοντέλα ενσωματώνουν τις λειτουργίες της ρύθμισης σήματος, καταγραφής σήματος και παραγωγής γραφικής εξόδου μαζί. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται το διάγραμμα ροής ενός τυπικού θερμικού καταγραφέα. Αποτελείται από ένα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, ο οποίος μετατρέπει το αναλογικό σήμα εισόδου από τον αισθητήρα σε ψηφιακό. Αυτό το ψηφιακό σήμα διαβιβάζεται σε έναν ελεγκτή, ο οποίος καθοδηγεί μία σειρά θερμικών στοιχείων, τα οποία συγκροτούν την κεφαλή εκτύπωσης. Ο ελεγκτής αυτός ενεργοποιεί την κεφαλή εκτύπωσης και η τελευταία δημιουργεί ένα μικρό σημάδι επάνω στο ειδικό θερμοευαίσθητο χαρτί.



Σχήμα : Θερμικός καταγραφέας

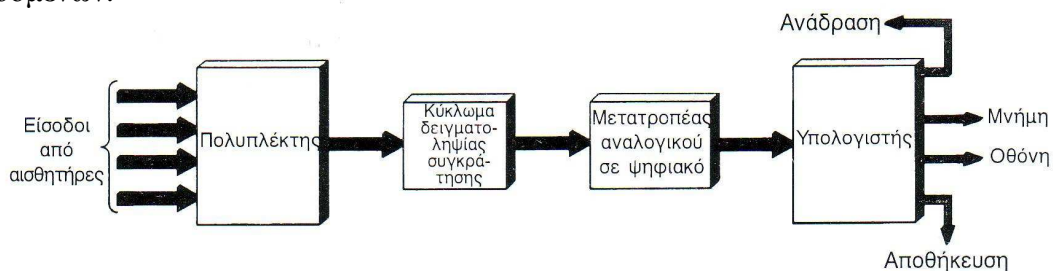
Οι θερμικοί καταγραφείς είναι ακριβείς και παρέχουν εικόνες υψηλής ποιότητας.

### 10.5 Υπολογιστές και συστήματα συλλογής δεδομένων

Ο όρος συστήματα συλλογής δεδομένων (data acquisition systems) αναφέρεται σε κάθε διαδικασία στην οποία υπάρχει μετατροπή πληροφορίας σε μορφή που μπορεί να δεχθεί ένας υπολογιστής. Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων που βασίζεται σε υπολογιστή είναι ένα σύστημα, στο οποίο ανιχνεύονται από έναν αισθητήρα μία ή περισσότερες παράμετροι, το σήμα εξόδου ρυθμίζεται κατάλληλα και τα δεδομένα αποθηκεύονται ή επεξεργάζονται από τον υπολογιστή.

Η πληροφορία που λαμβάνεται από αναλογικές μετρήσεις μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή και διαβιβάζεται σε έναν υπολογιστή. Ο υπολογιστής μπορεί να προσομοιώσει τη λειτουργία οποιουδήποτε οργάνου, αρκεί η ακατέργαστη πληροφορία που θα δινόταν στο όργανο να δίνεται στον υπολογιστή. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές όπως η συντήρηση και έλεγχος συνεχών βιομηχανικών διαδικασιών. Οι προκαθορισμένες τιμές, οι μεταβλητές των διαδικασιών, τα σήματα σφάλματος, οι τιμές εξόδου κ.α. μπορούν να απεικονίζονται στην οθόνη ενός υπολογιστή με μορφή ιστογραμμάτων, ψηφιακών ενδεικτών και εικόνων για να παρέχεται πληροφόρηση για την κατάσταση του συστήματος στο χειριστή. Οι υπολογιστές μπορούν εύκολα να επεξεργαστούν δεδομένα, για παράδειγμα να πολλαπλασιάσουν ξεχωριστά σήματα ρεύματος και τάσης και να παράγουν και να απεικονίσουν τιμές ισχύος και ενέργειας.

Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται το διάγραμμα ροής ενός συστήματος συλλογής δεδομένων.



Σχήμα : Σύστημα συλλογής δεδομένων

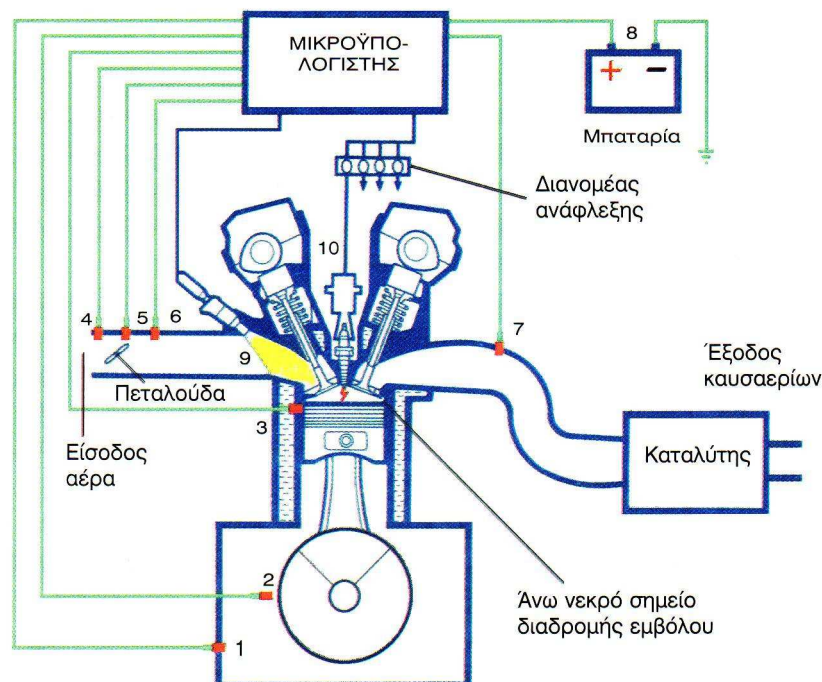
Τα δεδομένα λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες με την βοήθεια του συστήματος συλλογής. Για να επιτευχθεί αυτή η πολλαπλή λήψη χρησιμοποιείται ένας πολυπλέκτης (multiplexer). Η συσκευή αυτή δέχεται περιοδικά δείγματα από κάθε μέτρηση και τροφοδοτεί με αυτά το μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό. Εφόσον ο υπολογιστής λάβει τα δεδομένα, υπάρχουν διαθέσιμες αρκετές επιλογές, για παράδειγμα μπορεί να επεξεργαστεί άμεσα και να εμφανίσει τα αποτελέσματα στον χειριστή, ή να τα αποθηκεύσει στη μνήμη του και να τα συγκρίνει με παλαιότερα ή νεότερα δεδομένα. Ακόμα μπορεί να τροφοδοτήσει με αυτά ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου.

## 10.6 Έλεγχος κινητήρα με μικροϋπολογιστή

Ο μικροϋπολογιστής παίρνει πληροφορίες από ένα δίκτυο αισθητήρων και διακοπών, που μετατρέπουν τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του αυτοκινήτου σε ηλεκτρικά σήματα. Βασιζόμενος στις πρόσφατες αυτές πληροφορίες και σε μόνιμες οδηγίες και προγράμματα που βρίσκονται στη μνήμη του, ο μικροϋπολογιστής παίρνει αποφάσεις και δίνει εντολές στους ενεργοποιητές να τις εκτελέσουν. Οι αποφάσεις αυτές έχουν στόχο την καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Όλοι οι κινητήρες των αυτοκινήτων ελέγχονται με τον ίδιο τρόπο περίπου. Πολλές φορές όμως ο μικροϋπολογιστής θέλει να ελέγξει αν, είχε αποτέλεσμα η απόφαση που πήρε. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιεί μερικούς αισθητήρες στις εξόδους ενός συστήματος, για να μετρήσει το αποτέλεσμα των ενεργειών και να το βελτιώσει. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ανάδραση και το σύστημα λέγεται σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου.

Ας εξηγήσουμε τώρα το βασικό έλεγχο ενός κινητήρα αυτοκινήτου με μικροϋπολογιστή. Ο μικροϋπολογιστής πρέπει να ελέγξει δύο βασικά συστήματα δράσης και ένα σύστημα ανάδρασης.

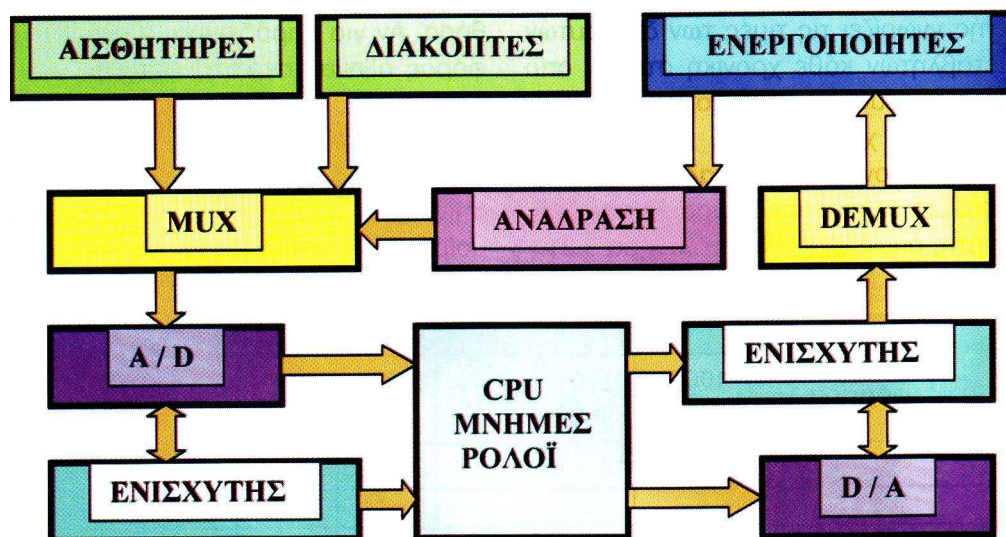
- Το σύστημα ψεκασμού καυσίμου (σύστημα δράσης)
- Το σύστημα ανάφλεξης καυσίμου (σύστημα δράσης)
- Το σύστημα ελέγχου καυσαερίων (σύστημα ανάδρασης)



Σχήμα : Έλεγχος λειτουργίας κινητήρα με μικροϋπολογιστή

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΜΙΚΡΟΪΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (ΣΧΗΜΑ 5.23)		ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ
A/A	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΔΡΑΣΗΣ		
1	Αισθητήρας θερμοκρασίας ψυκτικού υγρού κινητήρα	■	■
2	Αισθητήρας ταχύτητας - γωνίας άξονα στροφάλων	■	■
3	Αισθητήρας κτυπήματος (πειράκια) εκτόνωσης	■	■
4	Αισθητήρας ροής - θερμοκρασίας εισερχόμενου αέρα	■	-
5	Αισθητήρας θέσης πεταλούδας γκαζιού	■	■
6	Αισθητήρας απόλυτης πίεσης πολλαπλής εισαγωγής	■	■
<b>ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ</b>			
7	Αισθητήρας οξυγόνου ή λάμδα	■	-
<b>ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΓΕΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ</b>			
8	Αισθητήρας τάσης μπαταρίας	■	■
<b>ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ</b>			
9	Βαλβίδα ψεκασμού καυσίμου	■	-
10	Μονάδα ανάφλεξης με χρονισμό	-	■

Ταυτόχρονα όμως ο μικροϋπολογιστής ελέγχει και ένα πλήθος από υποσυστήματα, που έχουν σκοπό να βοηθήσουν τη λειτουργία των κύριων συστημάτων και να διορθώσουν τα αποτελέσματά τους. Για να πετύχει το στόχο του ο μικροϋπολογιστής παίρνει ενδείξεις από τους αισθητήρες και δίνει εντολές στους ενεργοποιητές όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Λειτουργικό διάγραμμα μικροϋπολογιστή

- Όπου MUX είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης, ο **πολυπλέκτης** που λειτουργεί ο επιλογέας των σημάτων διαφορετικών αισθητήρων εισόδου, έτσι ώστε τα σήματα εισόδου να ταξινομηθούν.
- Όπου DEMUX είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης, ο **αποπολυπλέκτης**, ο οποίος κάνει την αντίθετη εργασία με τον πολυπλέκτη, δηλαδή διαχωρίζει τα σήματα εξόδου που προορίζονται για διαφορετικούς ενεργοποιητές.
- Όπου A/D είναι ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analogue to digital)
- Όπου D/A είναι ο μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (digital to analogue)

Έτσι αφού ταξινομηθούν τα σήματα εισόδου από τον πολυπλέκτη, περνάνε από τον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, καταλήγουν στον ενισχυτή. Αυτός έχει σκοπό να ενισχύσει ή να εξασθενίσει το σήμα εισόδου. Η ενίσχυση του σήματος είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις, που οι αισθητήρες στέλνουν ασθενικά σήματα. Η εξασθένιση μερικών ισχυρών σημάτων όμως προστατεύει τον ευαίσθητο μικροεπεξεργαστή από τυχόν μεγάλες τάσεις εισόδου.

Η απόφαση του υπολογιστή έχει ψηφιακή μορφή, άρα τα σήματα εξόδου πρέπει να τροποποιηθούν από τον μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό, διότι οι περισσότεροι ενεργοποιητές λειτουργούν με αναλογικά σήματα τάσης ή ρεύματος. Ακολουθεί ο αποπολυπλέκτης, ο οποίος διαχωρίζει τα σήματα εξόδου που προορίζονται για διαφορετικούς ενεργοποιητές.

Η υλοποίηση των αποφάσεων του μικροϋπολογιστή γίνεται από μηχανισμούς, που λέγονται ενεργοποιητές ή μηχανισμοί εξόδου. Κάθε σύστημα στο αυτοκίνητο έχει συνήθως έναν ενεργοποιητή που υλοποιεί τις αποφάσεις του μικροϋπολογιστή, ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο ελέγχου στο σύστημα αυτό. Για παράδειγμα, το σύστημα ψεκασμού καυσίμου, οκτώ και περισσότερους αισθητήρες εισόδου των πληροφοριών, έχει ως ενεργοποιητές τις βαλβίδες ψεκασμού του καυσίμου. Εκτός από την βαλβίδα ψεκασμού, που είναι ένα σωληνοειδές ή ηλεκτρομαγνήτης, υπάρχουν και άλλοι τύποι ενεργοποιητών, όπως τα ρελέ, διάφοροι τύποι κινητήρων κλπ. Στην κατηγορία όμως των μηχανισμών εξόδου συμπεριλαμβάνονται όλα τα ενδεικτικά όργανα και οι συσκευές ειδοποίησης (σειρήνες συναγερμού κλπ.).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11**

### **11.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε μερικές εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν κάποιο σύστημα μέτρησης. Εδώ πρέπει να βασιστούμε στη γνώση και κρίση για να αποφασίσουμε ποιος τύπος αισθητήρα είναι ο πλέον ενδεδειγμένος. Η επιλογή της συσκευής καταγραφής ή απεικόνισης μπορεί να είναι τόσο σημαντική όσο και η επιλογή του αισθητήρα.



Η λειτουργία της ρύθμισης σήματος σε ένα σύστημα μέτρησης είναι να προσαρμόζει τον αισθητήρα με τον ενδείκτη ή την καταγραφική συσκευή. Αυτό είναι συνήθως το πιο περίπλοκο τμήμα της διαδικασίας σχεδίασης.

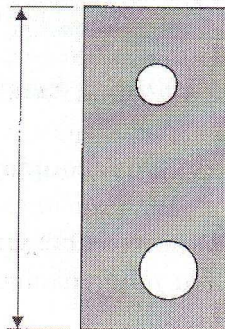
Για να αναπτύξουμε μία λύση σε κάθε μία από τις παρακάτω χαρακτηριστικές περιπτώσεις θα πρέπει να απαντήσουμε στις παρακάτω ερωτήσεις:

- Ποιο είναι το πρόβλημα;
- Πως μπορούμε να το επιλύσουμε;
- Ποιους αισθητήρες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε;
- Ποια είναι η κατάλληλη μορφή απεικόνισης;

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### Ποιο είναι το πρόβλημα;

Ένα εργοστάσιο παράγει τεμάχια σε μεγάλες ποσότητες. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάσταση του τεμαχίου, η οποία πρέπει να ελεγχθεί σε αυτό το στάδιο της διαδικασίας.

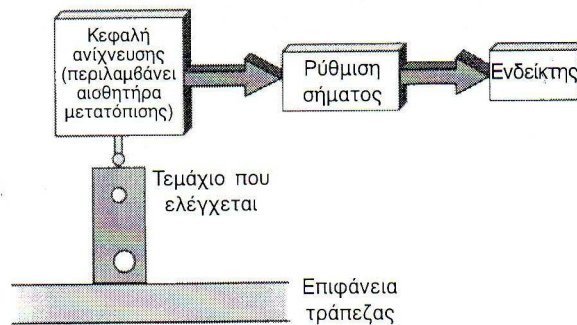


Σχήμα : Μορφή του κατασκευαζόμενου τεμαχίου

Για να γίνει αυτό θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα σύστημα, το οποίο να δείχνει εάν οι διαστάσεις του κάθε τεμαχίου εμπίπτουν στις προδιαγραφές ανοχής. Το σύστημα θα πρέπει να είναι αξιόπιστο και να χρειάζεται τη λιγότερη δυνατή συντήρηση. Ακόμα θα πρέπει να απαιτεί χαμηλή συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα.

### Πως μπορούμε να το επιλύσουμε;

Μια πιθανή λύση είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα μετατόπισης, ο οποίος θα μπορούσε να τοποθετηθεί επάνω στην επιφάνεια μίας τράπεζας και να σχηματίζει μια κεφαλή ανίχνευσης πάνω από τα τεμάχια. Η διάταξη εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Έλεγχος διαστάσεων

### Ποιους αισθητήρες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε;

Επειδή θέλουμε να μετρήσουμε γραμμική μετατόπιση, οι αισθητήρες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι το γραμμικό ποτενσιόμετρο ή το γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετασχηματιστή (LVDT), ή τον πυκνωτή μεταβλητής επιφανείας.

Από τους παραπάνω αισθητήρες ο LVDT αποτελεί την καλύτερη λύση επειδή, είναι δεν διαθέτει κινητά μέρη, όπως το ποτενσιόμετρο οπότε δεν θα επιβαρύνει το σύστημα με ανάγκες περαιτέρω συντήρησης. Ακόμα ο μεταβλητός πυκνωτής δε μπορεί να μετρήσει ένα μεγάλο εύρος μετατοπίσεων. Όσον αφορά το κόστος ο LVDT είναι πιο ακριβός από το ποτενσιόμετρο, αλλά η ύπαρξη ακρίβειας έχει ζωτική σημασία και στο θέμα αυτό ο LVDT είναι η καλύτερη επιλογή, επίσης έχει μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα.

### Ποια μορφή απεικόνισης είναι η πλέον κατάλληλη;

Η έξοδος του LVDT είναι ηλεκτρική. Επιλέγοντας κατάλληλα τα κυκλώματα διασύνδεσης και ρύθμισης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σήμα του αισθητήρα για να το οδηγήσουμε έναν ηλεκτρονικό ενδείκτη. Ένας ενδείκτης υγρών κρυστάλλων LCD παρέχει ακριβή πληροφόρηση, το ίδιο και ένας ενδείκτης με LED. Παρόλα αυτά ο LED απαιτεί περισσότερη ισχύ από έναν LCD, αλλά έχει μικρότερο χρόνο απόκρισης και είναι καλύτερα ορατός. Στην περίπτωση μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τους δύο παραπάνω ενδείκτες.

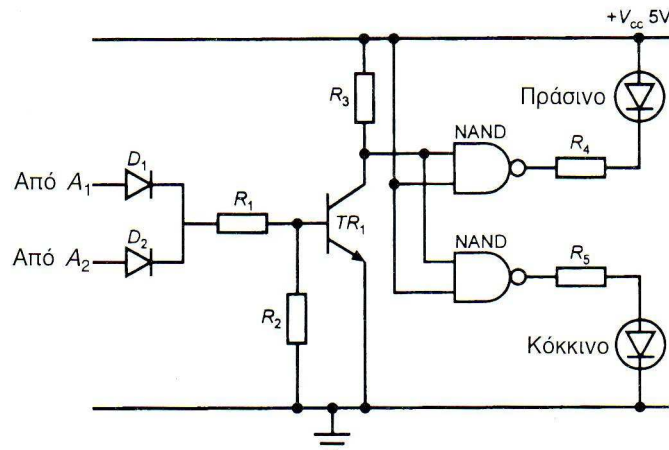
Έτσι ο ενδείκτης θα σχηματίζει τις λέξεις " ΟΚ.", " ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ" και "ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ". Εάν το τεμάχιο είναι εντάξει, τότε η διαδικασία συνεχίζεται με το επόμενο τεμάχιο. Εάν έχει μεγαλύτερο μέγεθος από το προβλεπόμενο μπορεί να τύχει επιπλέον επεξεργασίας για να έρθει στις σωστές διαστάσεις. Εάν είναι μικρότερο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάπου αλλού ή ως πρώτη ύλη.

Μια φθηνότερη λύση είναι απλά να ανάβει ένα πράσινο λαμπάκι όταν το τεμάχιο είναι εντάξει και ένα κόκκινο όταν το τεμάχιο είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο.

### Πως θα ρυθμίσουμε το σήμα και θα συνδέσουμε τις συσκευές;

Η κατάλληλη ρύθμιση σήματος μπορεί να υπάρχει ενσωματωμένη στο LVDT κατά την αγορά του. Εάν δεν υπάρχει, μπορεί να αγοραστεί ένα κύκλωμα ρύθμισης και να συνδεθεί με τον LVDT. Εάν πάλι δεν υπάρχει καθόλου θα πρέπει να σχεδιάσουμε ένα τέτοιο κύκλωμα.

Η θέση της κεφαλής ανίχνευσης θα πρέπει να τοποθετηθεί και να βαθμονομηθεί με ακρίβεια, έτσι ώστε όταν η μετρούμενη διάσταση είναι αυτή που πρέπει, να προκύπτει μηδενική τάση στην έξοδο. Μεγάλες διαστάσεις θα πρέπει να δημιουργούν μία θετική έξοδο και οι μικρές διαστάσεις μία αρνητική έξοδο. Ένα τέτοιο κύκλωμα εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Σύστημα ενεργοποιήσεως των λαμπτήρων αποδοχής και απόρριψης

Μια τάση αναφοράς  $V_L$  είναι ίση με την τάση εξόδου του LVDT όταν είμαστε στο κάτω όριο ανοχής, ενώ μια τάση αναφοράς  $V_h$  είναι ίση με την τάση εξόδου του LVDT όταν είμαστε στο άνω όριο ανοχής.

Γειώνοντας την μία έξοδο του LVDT και συνδέοντας την άλλη στην είσοδο του συγκριτή βλέπουμε ότι όταν η έξοδος του LVDT είναι μικρότερη από το κάτω όριο, τότε η έξοδος του συγκριτή  $A_1$  θα είναι υψηλή, οπότε η τάση εξόδου μετά το τρανζίστορ θα είναι χαμηλή. Εάν η έξοδος του LVDT είναι μεγαλύτερη από το άνω όριο, τότε η έξοδος του συγκριτή  $A_2$  θα είναι υψηλή, άρα η τάση εξόδου μετά το τρανζίστορ θα είναι χαμηλή. Όταν η έξοδος του LVDT είναι μεταξύ της τάσεως αναφοράς στο κάτω όριο ανοχής  $V_L$  και της τάσεως αναφοράς στο άνω όριο ανοχής  $V_h$ , οι δύο συγκριτές θα έχουν χαμηλή έξοδο, το τρανζίστορ  $TR_1$  θα είναι σε αποκοπή και η τάση εξόδου θα είναι υψηλή.

Πέρα από την ζώνη ανοχής, ο ένας συγκριτής θα έχει χαμηλή έξοδο και ο άλλος υψηλή. Στις περιπτώσεις αυτές οι δύο διόδους  $D_1$  και  $D_2$  εμποδίζουν το συγκριτή με υψηλή έξοδο να στείλει ρεύμα στο συγκριτή με χαμηλή έξοδο.

Το τρανζίστορ βρίσκεται σε αποκοπή όταν η έξοδος του LVDT βρίσκεται μεταξύ των τιμών τάσεων αναφοράς στο κάτω όριο αναφοράς και στο άνω όριο αναφοράς. Οι δύο πύλες NAND έχουν μία είσοδο συνδεδεμένη με την θετική τάση τροφοδοσίας, που αποτελεί το λογικό 1, και έχουν την άλλη είσοδο στην έξοδο του τρανζίστορ. Επομένως, όταν το τρανζίστορ είναι σε αποκοπή, οι πύλες NAND θα έχουν και τις δύο εισόδους τους σε λογικό 1 και επομένως θα έχουν στην έξοδο λογικά 0. Στο σημείο αυτό θα ανάψει το πράσινο λαμπάκι, όταν όμως το τρανζίστορ θα είναι ανοικτό, τότε οι δύο πύλες θα έχουν μία είσοδο στο λογικό 0 και επομένως οι εξοδοί τους θα είναι σε λογικό 1, άρα το πράσινο λαμπάκι θα είναι σβηστό και το κόκκινο αναμμένο.

## 11.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

### ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΜΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στα εργοστάσια που παράγουν μεγάλους αριθμούς παρόμοιων προϊόντων χρησιμοποιούνται συχνά ταινίες μεταφοράς. Αυτές όχι μόνο μεταφέρουν τα προϊόντα από τον ένα χώρο επεξεργασίας στον άλλο, αλλά και επιτρέπουν την εκτέλεση γρήγορων και απλών επιθεωρήσεων, χωρίς να διακόπτουν την αλυσίδα παραγωγής.

#### Ποιο είναι το πρόβλημα;

Ένα εργοστάσιο παράγει τρεις διαφορετικούς τύπους προϊόντων, το προϊόν Α, το προϊόν Β και το προϊόν Γ. Το σύστημα πρέπει να επιτρέπει την επιθεώρηση του κάθε προϊόντος, αλλά να το κάνει γρήγορα, χωρίς να διακόπτεται η κίνηση της ταινίας. Η ταινία μεταφοράς οδηγείται από έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Εάν παράγεται το προϊόν Α, η οπτική επιθεώρηση διαρκεί συνήθως λίγα δευτερόλεπτα. Η επιθεώρηση του Β διαρκεί έως ένα λεπτό και η επιθεώρηση του προϊόντος Γ μπορεί να διαρκέσει μερικά λεπτά. Άρα απαιτείται η κατασκευή ενός συστήματος ελέγχου, το οποίο να επιτρέπει έναν άνθρωπο να επιθεωρεί οπτικά κάθε προϊόν.

#### Πως μπορούμε να το επιλύσουμε;

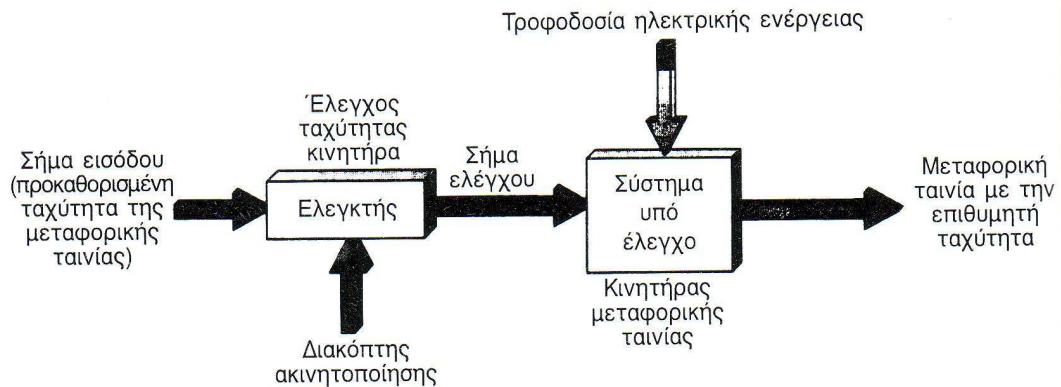
Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα απλό σύστημα ανοικτού βρόχου για να ελέγχει την ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας. Ένα βασικό σύστημα θα έπρεπε να διαθέτει τρεις ταχύτητες, μία για κάθε τύπο προϊόντος. Εντούτοις, επειδή οι χειριστές εργάζονται με διαφορετικούς ρυθμούς και η σχεδίαση του προϊόντος μπορεί να μεταβάλλεται από ομάδα σε ομάδα όμοιων προϊόντων, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής της ταχύτητας.

Η ταινία θα πρέπει να κινείται γρήγορα όταν μεταφέρει προϊόντα Α, λιγότερα γρήγορα όταν μεταφέρει προϊόντα Β και πιο αργά όταν μεταφέρει προϊόντα Γ.

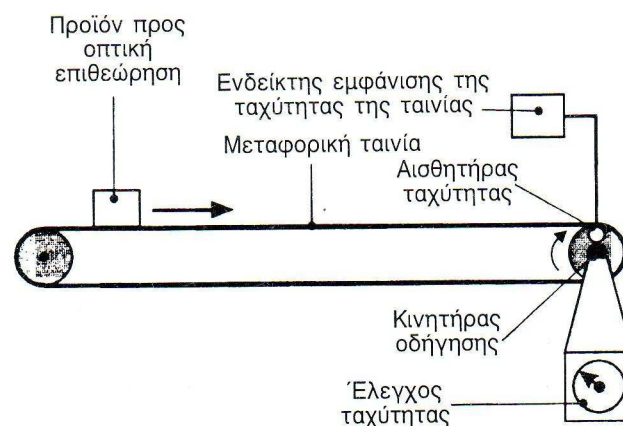
Η ταχύτητα του κινητήρα που κινεί την ταινία μεταφοράς μπορεί να ελέγχεται από ένα ποτενσιόμετρο, το οποίο να αυξάνει την τάση τροφοδοσίας του κινητήρα.

Παρότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανοικτού βρόχου, παραμένει αναγκαία η ανίχνευση και απεικόνιση σε τοπικό επίπεδο της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος ανοικτού βρόχου.

Ο έλεγχος του συστήματος με κλειστό βρόχο δεν είναι αναγκαίος, επειδή ο χειριστής αντιλαμβάνεται διαρκώς την κατάσταση του συστήματος. Επομένως οι συνέπειες που θα υπάρξουν εάν το σύστημα ξεφύγει από τον έλεγχο δεν θα είναι σημαντικές, επειδή ο χειριστής θα δράσει αμέσως για να το επαναφέρει υπό έλεγχο.



Σχήμα : Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου για τον έλεγχο της ταχύτητας ταινίας



Σχήμα : Μεταφορική ταινία επιθεώρησης προϊόντων

### Ποιους αισθητήρες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε;

Για να ανιχνεύσουμε την ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα στον άξονα οδήγησης του κινητήρα ή επάνω στη μεταφορική ταινία καθαυτή. Οι πιθανοί αισθητήρες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι :

- Ταχομετρική γεννήτρια a.c
- Ταχομετρική γεννήτρια d.c
- Αξονικός οπτικός αισθητήρας με LED και φωτοανιχνευτές
- Αισθητήρας μαγνητικού διακόπτη με γλωσσίδα
- Αισθητήρας προσέγγισης φαινομένου Hall
- Αισθητήρας προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

Εάν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε μία ταχομετρική γεννήτρια, θα μπορούμε να την συνδέσουμε απευθείας στον άξονα οδήγησης του κινητήρα, ή στη μεταφορική ταινία

με την βοήθεια ενός τροχού επαφής. Τότε αυτή θα παράγει ένα ηλεκτρικό σήμα σχετιζόμενο με την ταχύτητα.

Οι ταχομετρικές γεννήτριες a.c είναι φθηνότερες από τις γεννήτριες d.c, η έξοδος μιας ταχογεννήτριας a.c επίσης έχει λιγότερο ηλεκτρικό θόρυβο. Η ταχογεννήτρια d.c από την άλλη παρέχει ένδειξη της κατεύθυνσης κίνησης της ταινίας, αλλά αυτό δε χρειάζεται γιατί η φορά κίνησης είναι πάντα η ίδια. Οπότε απορρίπτουμε την ταχομετρική γεννήτρια d.c επειδή έχει σχετικά υψηλό κόστος.

Οι οπτική κωδικοποιητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ένα κωδικοποιημένο δίσκο, που να είναι στερεωμένος επάνω στον άξονα του κινητήρα. Παρέχουν υψηλό βαθμό ακρίβειας αλλά αυτό το πλεονέκτημα δεν μας ενδιαφέρει προς το παρόν. Το κόστος του κωδικοποιητή καθώς και το κόστος της επακόλουθης ρύθμισης του σήματος καθιστούν και αυτήν την επιλογή απορριπτέα. Οι αισθητήρες μαγνητικού διακόπτη με γλωσσίδα είναι απλές συσκευές χαμηλού κόστους. Στην εφαρμογή μας μπορεί να ενσωματωθεί στον άξονα οδήγησης του κινητήρα ένας ή περισσότεροι μαγνήτες, ή να τοποθετηθούν μερικοί μαγνήτες σε κάποια σημεία της μεταφορικής ταινίας. Έτσι θα δημιουργούνται μία παλμική έξοδος ανάλογη της ταχύτητας της ταινίας. Η διαρκής κίνηση της γλωσσίδας ελαττώνει τον προσδόκιμο χρόνο λειτουργίας τους σε σύγκριση με άλλους αισθητήρες προσέγγισης. Επίσης είναι εύθραυστοι και πρέπει να προστατεύονται από κρούσεις και δονήσεις. Επομένως μπορούν να παραλειφθούν.

Οι αισθητήρες φαινομένου Hall και μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης μπορούν και οι δύο να καταγράφουν την περιστροφή ενός οδοντωτού τροχού, προσαρμοσμένου στον άξονα οδήγησης της μεταφορικής ταινίας. Εντούτοις η ταχύτητα περιστροφής θα είναι πολύ πιο αργή όταν μεταφέρονται και επιθεωρούνται προϊόντα του τύπου Γ. Ο αισθητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης είναι γνωστό ότι δεν λειτουργεί καλά σε χαμηλές ταχύτητες, ενώ οι αισθητήρες φαινομένου Hall μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι είναι σχετικά ακριβοί.

Οπότε η απλούστερη και φθηνότερη μέθοδος για την καταγραφή της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας είναι η χρησιμοποίηση μίας ταχομετρικής γεννήτριας εναλλασσομένου ρεύματος (a.c), τοποθετημένης άμεσα ή με την βοήθεια ενός γραναζιού στο άξονα οδήγησης της μεταφορικής ταινίας.

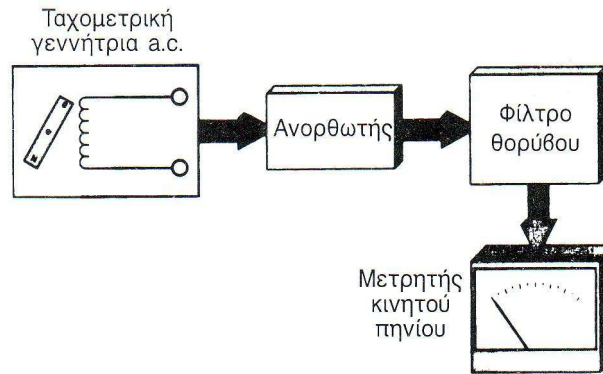
### **Ποια μορφή απεικόνισης είναι η πλέον κατάλληλη;**

Για να διατηρηθούν το κόστος και οι απαιτήσεις για ρύθμιση σήματος σε χαμηλά επίπεδα, είναι σκόπιμη η χρήση ενός αναλογικού ενδείκτη. Οι πιθανοί αναλογικοί ενδείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ο μετρητής κινητού πηνίου, ο μετρητής κινητού οπλισμού και ο παλμογράφος.

Ο μετρητής κινητού πηνίου μπορεί να εμφανίσει το πλάτος του σήματος εξόδου της ταχομετρικής γεννήτριας a.c. Αυτό θα είναι ανάλογο της ταχύτητας του άξονα οδήγησης του κινητήρα και άρα της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας. Η κλίμακα του ενδείκτη μπορεί να βαθμονομηθεί σε μονάδες ταχύτητας της ταινίας. Τέτοιοι μετρητές είναι φθηνοί και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και περιοχές τιμών τάσεων. Ο μετρητής κινητού οπλισμού λειτουργεί με τρόπο αντίστοιχο του μετρητή κινητού πηνίου. Εντούτοις είναι πιο κατάλληλος για μη γραμμικές κλίμακες και έτσι, μεταξύ των δύο, ο μετρητής κινητού πηνίου είναι προτιμότερος.

Ο παλμογράφος θα απεικονίζει την τάση εξόδου της ταχομετρικής γεννήτριας a.c, και γνωρίζουμε ότι το πλάτος και η συχνότητα αυτής της κυματομορφής είναι ανάλογα της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας. Η οθόνη του παλμογράφου μπορεί να

βαθμονομηθεί σε μονάδες ταχύτητας. Ο παλμογράφος αποτελεί μια ακριβή λύση οπότε συμπεραίνουμε ότι ένας μετρητής κινητού πηνίου με μία απλή γραμμική κλίμακα αποτελεί μία λύση φθηνή αλλά και αποτελεσματική για τις απαιτήσεις της εφαρμογής.



Σχήμα : Ρύθμιση σήματος του αισθητήρα μέτρησης της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας.

### Πως θα ρυθμίσουμε το σήμα και θα συνδέσουμε τις συσκευές;

Οι μετρητές κινητού πηνίου συνήθως δέχονται συνεχείς τάσεις στην είσοδο τους. Επομένως η έξοδος της ταχομετρικής γεννήτριας a.c πρέπει να μετατραπεί σε συνεχή τάση. Αυτό γίνεται με μία διάταξη που ονομάζεται ανορθωτής. Είναι μία απλή διάταξη χαμηλού κόστους που μετατρέπει ικανοποιητικά τα εναλλασσόμενα σήματα σε συνεχή.

Η κυματομορφή της τάσης εξόδου της ταχογεννήτριας a.c είναι ανάλογη της ταχύτητας πλευράς πλάτους αλλά και συχνότητας. Η πιο απλή τεχνική που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι να λάβουμε υπόψη το πλάτος και να το απεικονίσουμε κατευθείαν στο μετρητή κινητού πηνίου.

Επειδή συνήθως οι ταχομετρικές γεννήτριες a.c παράγουν σήμα με κάποια ανεπιθύμητη ποσότητα θορύβου, ενσωματώνεται στον ανορθωτή ένα φίλτρο για την απομάκρυνση του θορύβου αυτού.

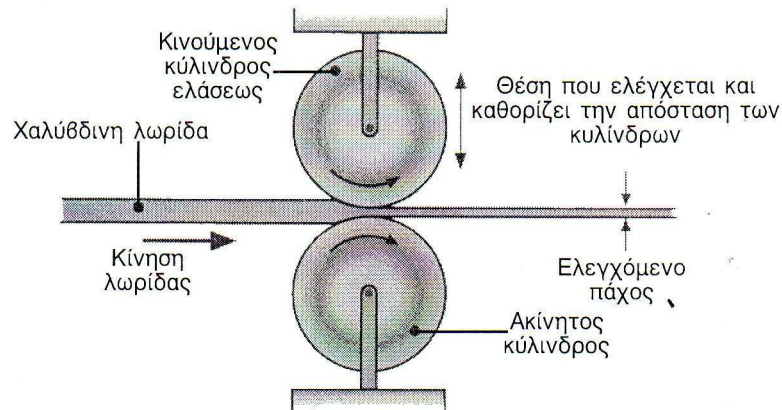
## ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ

Ένα από τα στάδια κατασκευής χαλύβδινων φύλλων περιλαμβάνει τη διαβίβαση της θερμής λωρίδας μετάλλου ανάμεσα σε δύο κυλίνδρους ελάσεως, ή αλλιώς έλαστρα. Αυτό γίνεται για να ελαττωθεί το πάχος και να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες. Για την παραγωγή χαλύβδινων φύλλων υψηλής ποιότητας, το πάχος τους θα πρέπει να εμπίπτει σε κάποια προκαθορισμένα όρια ανοχής. Επομένως απαιτείται ο ακριβής έλεγχος της απόστασης των κυλίνδρων ελάσεως.

### Ποιο είναι το πρόβλημα;

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η βασική μορφή ενός συστήματος κυλίνδρων ελάσεως μίας χαλυβουργίας. Στη διαδικασία παραγωγής χαλύβδινων φύλλων, το πάχος των

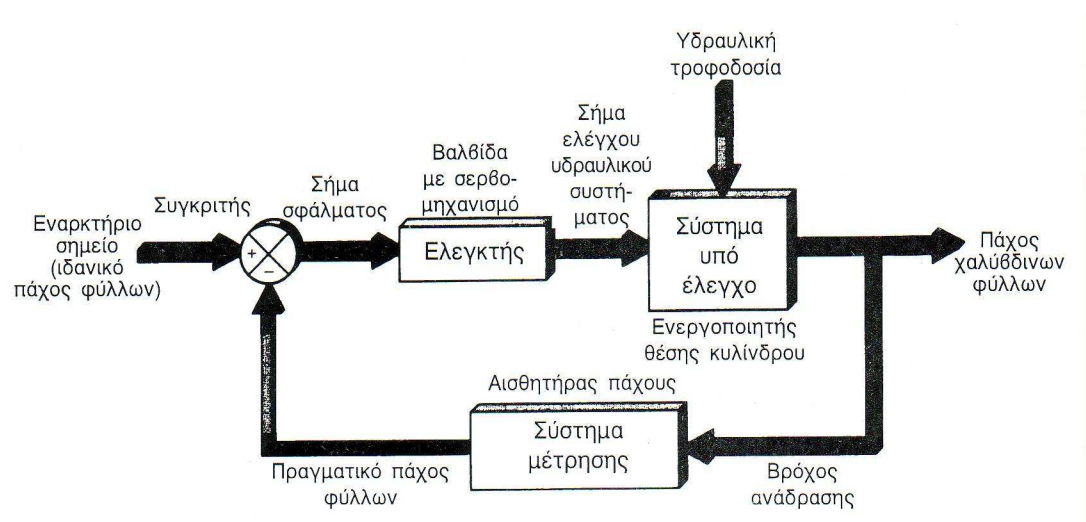
φύλλων εξαρτάται από την απόσταση των κυλίνδρων ελάσεως, οι οποίοι πιέζουν το χάλυβα καθώς περιστρέφονται και του δίνουν την μορφή φύλλου. Ο έλεγχος του πάχους των φύλλων γίνεται καθορίζοντας τη θέση του κινητού κυλίνδρου ελάσεως ως προς τον δεύτερο κύλινδρο, του οποίου ο άξονας είναι σταθερός. Οπότε απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο να μπορεί να ανιχνεύει μεταβολές του πάχους των παραγόμενων φύλλων, αφότου αυτά εξέλθουν από το ζεύγος των κυλίνδρων ελάσεως. Τότε θα πρέπει να ρυθμίζει τη θέση του κινητού κυλίνδρου, έτσι ώστε το πάχος να διατηρεί την προκαθορισμένη τιμή.



Σχήμα : Έλεγχος του πάχους χαλύβδινων φύλλων

### Πως μπορούμε να το επιλύσουμε;

Ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου θα παρέχει τη λύση στο πρόβλημα. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται το διάγραμμα βαθμίδων αυτού του συστήματος.



Σχήμα : Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου για τον έλεγχο του πάχους χαλύβδινων φύλλων.

Θα ανιχνεύονται οι μεταβολές του πάχους των χαλύβδινων φύλλων και θα μετατρέπονται σε ένα σήμα σφάλματος, μέσω της σύγκρισης του πραγματικού πάχους με το ιδανικό προκαθορισμένο πάχος. Μετά από κατάλληλη ρύθμιση σήματος



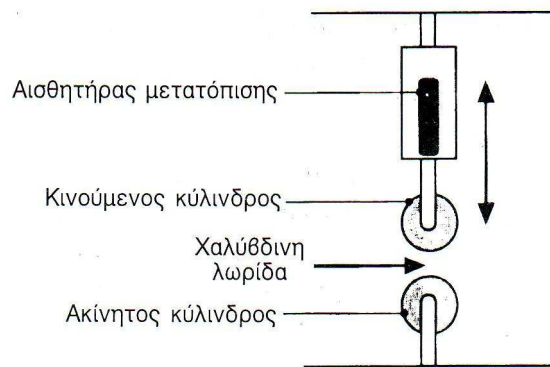
και διασύνδεση, το σήμα ελέγχου που προκύπτει θα ελέγχει τον ενεργοποιητή θέσης του κυλίνδρου. Ο ενεργοποιητής (actuator) είναι η συσκευή που επηρεάζει την παράμετρο που βρίσκεται υπό έλεγχο σε ένα σύστημα. Σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου ο ενεργοποιητής παράγει μία έξοδο, όπως μία μηχανική κίνηση λαμβάνοντας το σήμα ελέγχου.

Στην περίπτωση μας ο ενεργοποιητής θέσης του κυλίνδρου θα ανυψώσει ή θα κατεβάσει τον κινητό κύλινδρο. Επομένως παράγει μια μηχανική έξοδο από το σύστημα ελέγχου που δέχεται και έτσι αλλάζει ανάλογα θέση.

Σε αυτή την διαδικασία εργασίας οι κύλινδροι μετακινούνται από μία υδραυλική πηγή ισχύος. Απαιτείται επιπλέον μία βαλβίδα με σερβομηχανισμό, η οποία διασυνδέει το ηλεκτρονικό κύκλωμα με τον ενεργοποιητή.

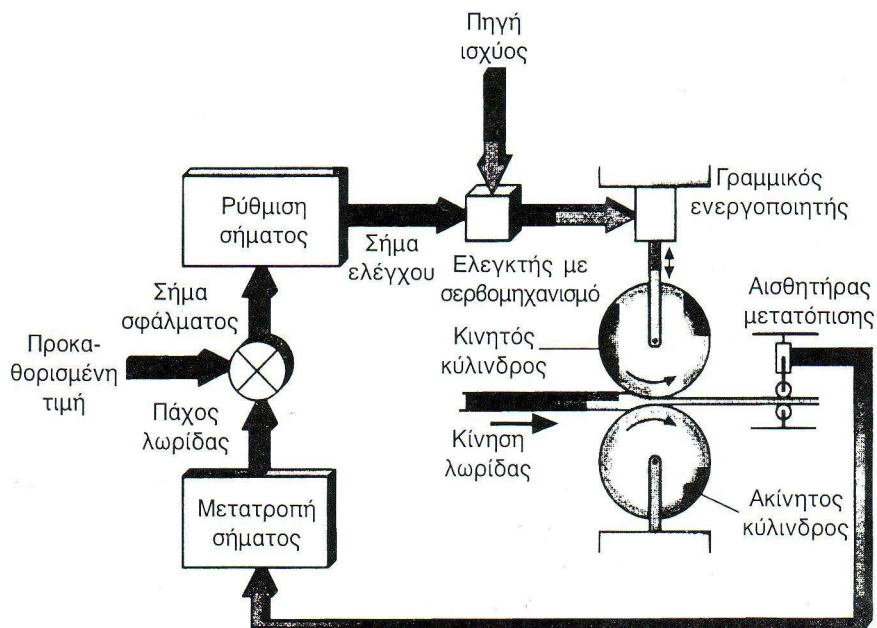
Εφόσον ο χάλυβας περάσει από τους δύο κυλίνδρους, διαβιβάζεται σε δύο μικρότερους κυλίνδρους, οι οποίοι θα μετατρέψουν τυχόν ανομοιομορφίες του πάχους σε γραμμικές μετατοπίσεις. Τότε απαιτείται ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης για να μετρά τις παραπάνω διακυμάνσεις του πάχους.

Ο αισθητήρας αυτός τοποθετείται στο σύστημα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Συναρμολόγηση του αισθητήρα ανίχνευσης

Η μορφή του ολοκληρωμένου συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα : Έλεγχος πάχους σε μία χαλυβουργία

### Ποιους αισθητήρες θα χρησιμοποιήσουμε;

Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα γραμμικής μετατόπιση. Εφόσον η χαλύβδινη λωρίδα κινείται με μεγάλη ταχύτητα ανάμεσα στους κυλίνδρους ελάσεως, θα πρέπει να έχουμε ένα σύστημα με ταχεία απόκριση. Το περιβάλλον έχει μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, βρωμιάς, οπότε ο αισθητήρας θα πρέπει σε αυτές τις καταστάσεις να διατηρεί υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Επιπρόσθετα ο αισθητήρας θα πρέπει να έχει υψηλή ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Οι μεταβολές στο πάχος των παραγόμενων φύλλων δεν θα είναι μεγάλες, επομένως θα πρέπει να λειτουργεί σε περιορισμένο εύρος τιμών μέτρησης.

Οι πιθανοί αισθητήρες γραμμικής μετατόπισης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι:

- Γραμμικό ποτενσιόμετρο
- Διαφορικός μετασχηματιστής LVDT
- Πυκνωτής μεταβλητής επιφάνειας

Τα γραμμικά ποτενσιόμετρα πλεονεκτούν σε σύγκριση με τους άλλους αισθητήρες από πλευράς κόστους. Εντούτοις στην εφαρμογή μας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε γραμμικά ποτενσιόμετρα υψηλών προδιαγραφών, ώστε να έχουμε την επιθυμητή ακρίβεια και διακριτική ικανότητα. Το γραμμικό ποτενσιόμετρο έχει μία κινητή επαφή που κινείται επάνω σε ένα στοιχείο αντίστασης, και επομένως το τελευταίο υπόκειται σε μηχανική φθορά. Άρα αποκλείουμε τον αισθητήρα αυτό.

Ο LVDT μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Επίσης μπορεί να αντιμετωπίσει καλύτερα από το ποτενσιόμετρο το σκληρό περιβάλλον αλλά χρειάζεται κάποια μορφή προστασίας. Τέλος τα LVDT είναι ακριβά και επειδή πρέπει να προστατεύονται και να αντικαθιστούνται τακτικά, τα απορρίπτουμε.

Ο πυκνωτής μεταβλητής επιφάνειας είναι ένας αισθητήρας μη επαφής και αντέχει σε σκληρό περιβάλλον. Μπορεί να αντιμετωπίσει υψηλές θερμοκρασίες, δονήσεις και υγρασία. Τα κόστος της προστασίας του LVDT απέναντι σε σκληρό περιβάλλον καθιστά τον πυκνωτή πιο οικονομική λύση. Τέλος πρέπει να μετριοούνται μικρές μετατοπίσεις και αυτό ταιριάζει στον πυκνωτή, που έχει δυνατότητα μετρήσεων σε περιορισμένο εύρος. Οι πυκνωτές εμφανίζουν άπειρη διακριτική ικανότητα, είναι ευαίσθητοι και έχουν ταχεία απόκριση. Επομένως αποτελεί την ιδανική λύση για την εφαρμογή μας.

### Ποια μορφή απεικόνισης είναι η πλέον κατάλληλη;

Η βασική διαδικασία ελέγχου δεν απαιτεί την ύπαρξη ενδείκτη. Εντούτοις, για να μπορεί να ελέγχεται η ποιότητα του χάλυβα και να παρακολουθείται η διαδικασία, με σκοπό την ανίχνευση τυχόν προβλημάτων, όπως είναι η φθορά των κυλίνδρων, απαιτείται η περιοδική καταγραφή της κατάστασης του συστήματος.

Οι πληροφορίες από τον αισθητήρα μετατόπισης μπορούν να συλλέγονται από ένα σύνολο ειδικών λωρίδων που θα υφίστανται έλαση κάθε μέρα. Αυτό μπορεί να γίνει με την βοήθεια κινητού πηνίου, μιας καταγραφικής συσκευής με κύλινδρο πηνίου, έναν θερμικό καταγραφέα, ένα σχεδιογράφο X Y ή ένα σύστημα συλλογής δεδομένων.

Οι αλλαγές στη γραμμική μετατόπιση θα είναι ταχείες. Η απόκριση του μετρητή κινητού πηνίου είναι αργή και έτσι αυτός δε μπορεί να καταγράψει ικανοποιητικά τις αλλαγές του πάχους.

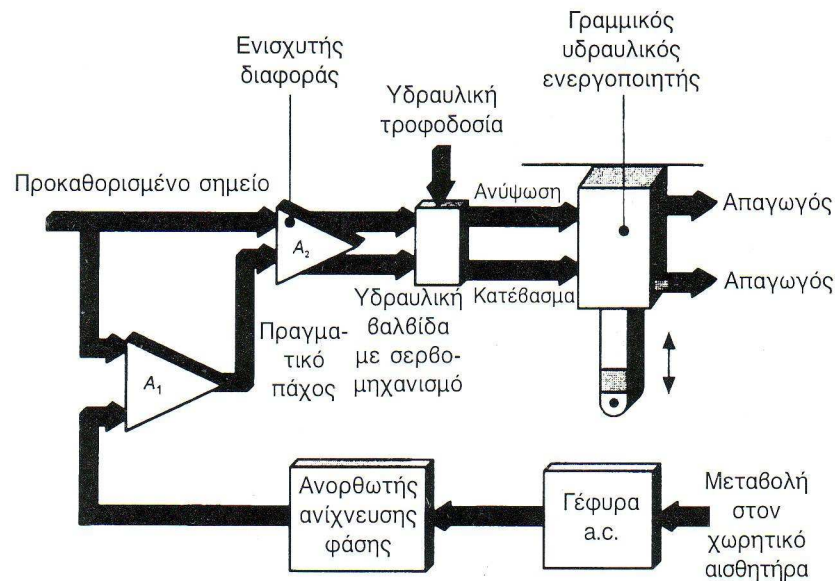
Οι σχεδιογράφοι X Y είναι σχετικά αργοί και απαιτούν τακτική συντήρηση. Ο καταγραφέας με κύλινδρο χαρτιού και το σύστημα συλλογής δεδομένων φαίνονται να είναι κατάλληλα για την παρακολούθηση της διαδικασίας. Η απόφαση που θα πάρουμε εξαρτάται από το τελικό κόστος, την επιθυμία να έχουμε καταγραφή δεδομένων σε χαρτί ή αποθήκευση τους για μετέπειτα χρήση.

Ο καταγραφέας με κύλινδρο χαρτιού είναι συσκευή χαμηλού κόστους, φορητή και εύκολη στη χρήση. Μπορεί να παρέχει μια γραφική παράσταση σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα. Άρα αποτελεί την κατάλληλη λύση για την εφαρμογή μας.

### Πως θα ρυθμίσουμε το σήμα και θα συνδέσουμε τις συσκευές;

Ο χωρητικός αισθητήρας πρέπει να συνδεθεί στον ένα βραχίονα μίας γέφυρας a.c. Αυτό είναι ένα κύκλωμα παρόμοιο με την γέφυρα Wheatstone αλλά αντί να υπολογίζει την τιμή μιας άγνωστης αντίστασης, υπολογίζει την τιμή ενός άγνωστου πυκνωτή. Όταν το πάχος της λωρίδας έχει την απαιτούμενη τιμή, η έξοδος της γέφυρας είναι μηδέν και η γέφυρα βρίσκεται σε ισορροπία.

Εάν το πάχος του παραγόμενου φύλλου υπερβεί ή είναι μικρότερο από την προκαθορισμένη τιμή, η γέφυρα θα παράγει μία έξοδο, η φάση της οποίας θα εξαρτάται από την σχέση του πραγματικού πάχους με την προκαθορισμένη τιμή. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση προς την οποία θα πρέπει να κινηθεί ο κινητός κύλινδρος, ώστε το πάχος των φύλλων να επανέλθει στην προκαθορισμένη τιμή.



Σχήμα : Χωρητικός αισθητήρας για έλεγχο πάχους σε διαδικασία έλασης

Ο ανορθωτής ανίχνευσης φάσης είναι μία συσκευή που παράγει μια συνεχή έξοδο από μία εναλλασσόμενη είσοδο, με πολικότητα ανάλογη της φάσης της εισόδου. Όταν συνδέσουμε την έξοδο της γέφυρας εναλλασσομένου στον ανορθωτή αυτό, δημιουργείται ένα συνεχές σήμα ανάλογο της μεταβολής της χωρητικότητας, με πολικότητα που εξαρτάται από την κατεύθυνση μεταβολής της χωρητικότητας (δηλαδή προς την μικρότερη ή προς την μεγαλύτερη τιμή).

Το προκαθορισμένο σημείο θα είναι μία συνεχής τιμή τάσης. Ο ενισχυτής A1 προσθέτει την έξοδο του ανορθωτή ανίχνευσης τάσης στην προκαθορισμένη τάση, ώστε οι δύο είσοδοι του ενισχυτή διαφοράς A2 να έχουν την ίδια στάθμη αναφοράς.



Αυτό προέκυψε μέσα από την ανάγκη για περιορισμό των ρύπων στα καυσαέρια και για οικονομικότερη λειτουργία.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΩΔΙΚΑΣ	ΕΞΑΡΤΗΜΑ
A35	Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου
A63	Μονάδα ελέγχου A/C
B24	Αισθητήρας θερμοκρασίας νερού
B25	Αισθητήρας θερμοκρασίας εισαγωγής αέρα
B33	Αισθητήρας ταχύτητας
B69	Αισθητήρας προανάφλεξης
B72	Αισθητήρας οξυγόνου
B75	Αισθητήρας στροφών
B83	Αισθητήρας υποπίεσης
B147	Αισθητήρας θέσης πεταλούδας
F	Ασφάλεια
H63	Λυχνία αυτοδιάγνωσης
K46	Κεντρικό ρελέ κινητήρα
M12	Αντλία καυσίμου
R9	Αντίσταση προθέρμανσης πολλαπλής εισαγωγής
S39	Διακόπτης αδρανείας
T1	Πολλαπλασιαστής
X1	Πρίζα σύνδεσης συσκευής διάγνωσης βλαβών
Y3	Εκχυτήρες ψεκασμού (μπεκ)
Y99	Βαλβίδα ρύθμισης ρελαντί
Y104	Βαλβίδα ενεργού άνθρακα
15	Διακόπτης ανάφλεξης
30	Μπαταρία +
31	Μπαταρία -

Τέτοια συστήματα εφάρμοσαν αρκετές εταιρίες με πρωταγωνιστή την Bosch, που ονόμασε αυτά τα συστήματα Motronic. Τα συστήματα αυτά ελέγχουν και ρυθμίζουν την ακριβή ποσότητα ψεκασμού και το ακριβές σημείο ανάφλεξης σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, όπως ρελαντί, μερικό και πλήρες φορτίο με αποτέλεσμα την μείωση των ρύπων.

### ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΔΗΣΗΣ (ABS)

Το σύστημα πέδησης είναι ένα από τα πλέον καθοριστικά συστήματα του αυτοκινήτου για την ασφαλή κίνηση του. Τα απλά μηχανικά φρένα έχουν γίνει σήμερα ηλεκτρονικά ελεγχόμενα. Το σύστημα πέδησης πρέπει να επιτρέπει στον οδηγό να μειώνει την ταχύτητα του οχήματος, να το ακινητοποιεί σε κατάλληλη απόσταση και χρόνο. Ένα τυπικά σύστημα ABS αποτελείται από:

- Αισθητήρες
- Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου
- Ηλεκτροϋδραυλική μονάδα
- Την ενδεικτική λυχνία

## Λειτουργία συστήματος ABS

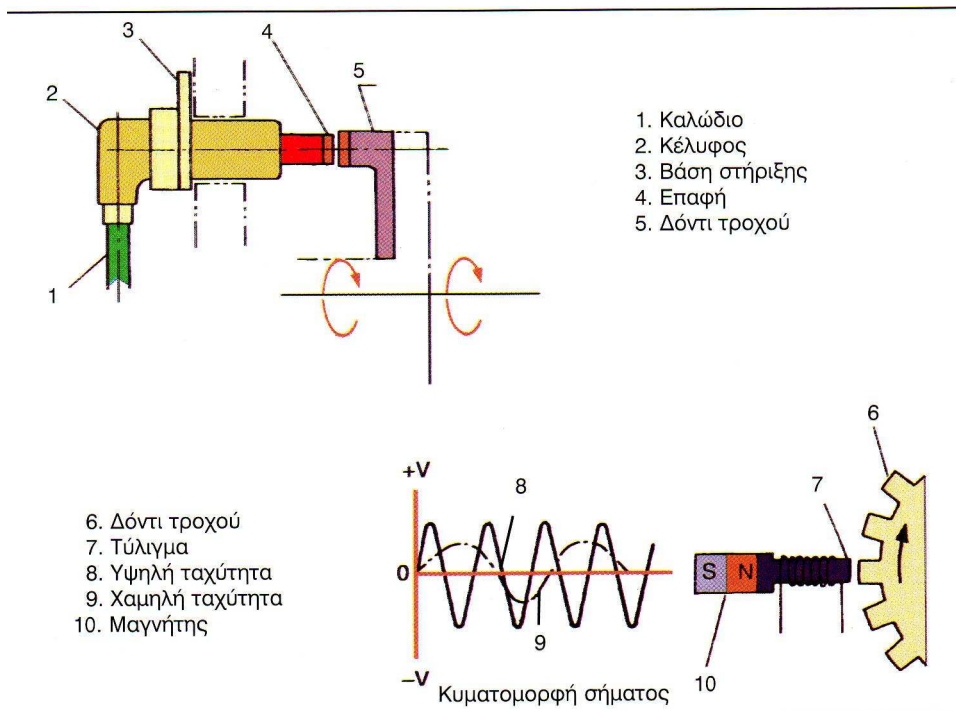
Κατά το φρενάρισμα αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Ταυτόχρονα, δημιουργείται μία ολίσθηση ανάμεσα στο ελαστικό και την επιφάνεια του οδοστρώματος και την επιφάνεια του οδοστρώματος. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής τριβής και όσο πιο μικρό το ποσοστό της ολίσθησης των τροχών τόσο καλύτερη είναι και η απόσταση φρεναρίσματος.

Το σύστημα ABS δημιουργεί τέτοιες συνθήκες δυνάμεων πέδησης στον τροχό ώστε η ολίσθηση του κάθε τροχού να είναι η μικρότερη δυνατή. Ο έλεγχος της πίεσης των υγρών των φρένων περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια λειτουργίας του συστήματος.

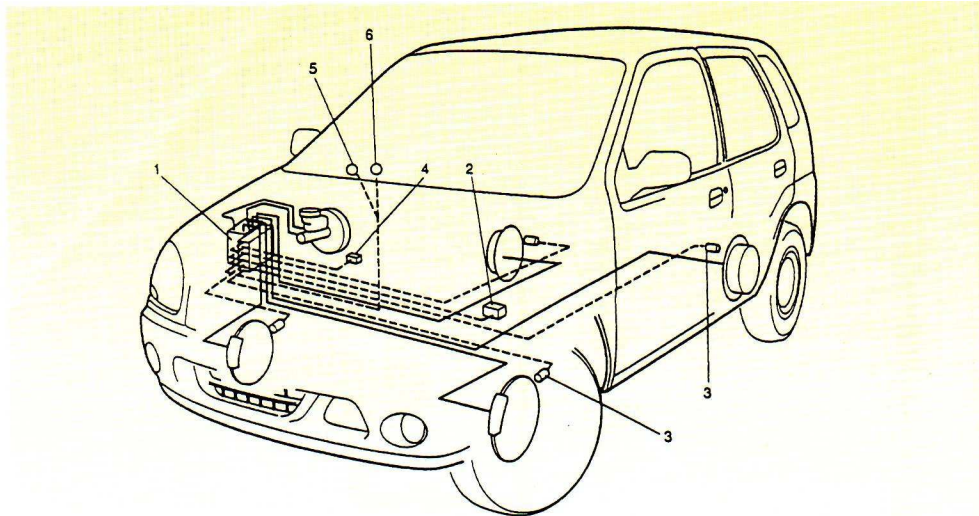
1. τη μείωση της πίεσης για να μην μπλοκάρει ο τροχός
2. την συγκράτηση της πίεσης σε σταθερή τιμή για να επιβραδύνει ο τροχός, χωρίς να μπλοκάρει.
3. την αύξηση της πίεσης, εφόσον έχει σταματήσει το μπλοκάρισμα του τροχού.

**Οι αισθητήρες στροφών** των τροχών ανιχνεύουν την ταχύτητα περιστροφής κάθε τροχού. Παράγουν σήματα που πληροφορούν την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου για την ολίσθηση ή όχι των τροχών. Είναι αισθητήρες επαγωγικού τύπου.

Ένας οδοντωτός τροχός περιστρέφεται μπροστά από τον αισθητήρα. Κατά την περιστροφή του οδοντωτού τροχού μπροστά από τον αισθητήρα παράγεται μία εναλλασσόμενη τάση. Η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής των τροχών. Ο αισθητήρας στροφών τοποθετείται σε σταθερή θέση, σε απόσταση από τον οδοντωτό τροχό 1mm έως 1,5mm.



Σχήμα : Αισθητήρας στροφών

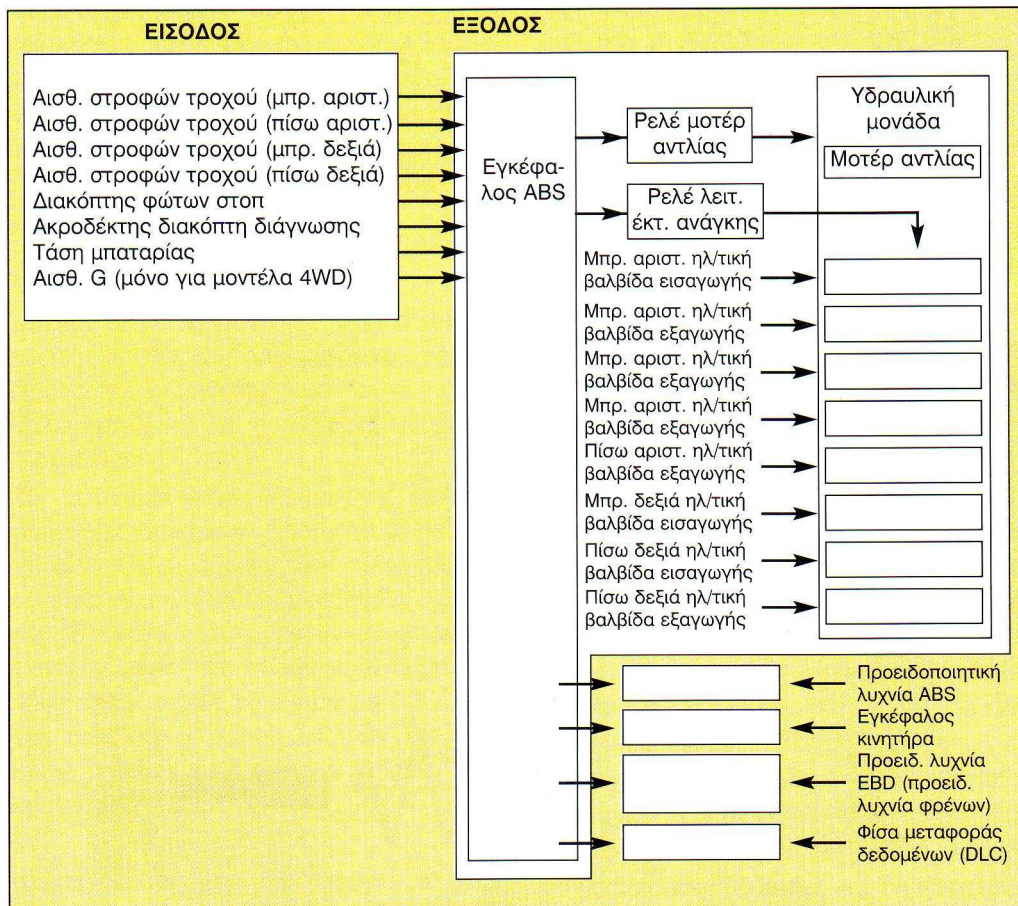


- |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Συγκρότημα υδραυλικής μονάδας / εγκατά-<br/>λου ABS</li> <li>2. Αισθητήρας επιβράδυνσης, (υπάρχει συνή-<br/>θως μόνο σε μοντέλα 4WD)</li> <li>3. Αισθητήρες στροφών των τροχών</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Διακόπτης φώτων στοπ (υπάρχει και στα<br/>συμβατικά συστήματα πέδησης)</li> <li>5. Προειδοποιητική λυχνία ABS</li> <li>6. Προειδοποιητική λυχνία φρένων</li> </ol> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

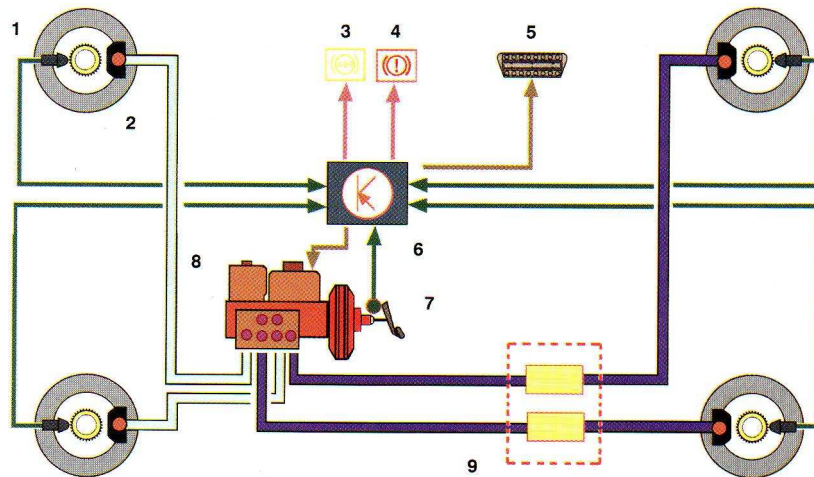
Σχήμα : Διάταξη εξαρτημάτων συστήματος ABS

**Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου** του ABS με βάση τα σήματα από τους αισθητήρες στροφών των τροχών στέλνει σήματα λειτουργίας προς την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα του ABS για τον έλεγχο της πίεσης των υγρών που εφαρμόζεται στο κυλινδράκι κάθε τροχού ώστε να αποτραπεί το μπλοκάρισμα των τροχών. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου λειτουργεί δηλαδή ως ένας υπολογιστής πολλών καναλιών. Δέχεται τα ηλεκτρικά σήματα από τους αισθητήρες στροφών, τα οποία είναι ανάλογα προς την ταχύτητα των τροχών. Με βάση τα σήματα αυτά υπολογίζει την ταχύτητα επιβράδυνσης των τροχών και δίνει εντολή στην **ηλεκτροϋδραυλική μονάδα**. Αυτή η μονάδα είναι ο ενεργοποιητής του συστήματος και περιλαμβάνει:

- Τον ηλεκτροκινητήρα και την αντλία, η οποία διοχετεύει το υγρό που αφαιρέθηκε κατά την μείωση της πίεσης από το κυλινδράκι του τροχού πίσω στο αντίστοιχο κύκλωμα φρένων.
- Το συσσωρευτή της πίεσης του κυκλώματος, όπου διατηρεί την πίεση του συστήματος.
- Τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες για την ρύθμιση της πίεσης του κυκλώματος.
- Τον αποσβεστήρα παλμών. Με τη λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων παρουσιάζεται αυξομείωση της πίεσης των υγρών των φρένων. Αυτό δημιουργεί παλμικές δονήσεις στο σύστημα που φθάνουν μέχρι το πεντάλ φρένων του οδηγού.
- Τα διάφορα ρελέ, όπως το ρελέ της αντλίας, το ρελέ λειτουργίας έκτακτης ανάγκης κλπ.



Σχήμα : Λειτουργικό διάγραμμα ηλεκτρονική μονάδας ελέγχου

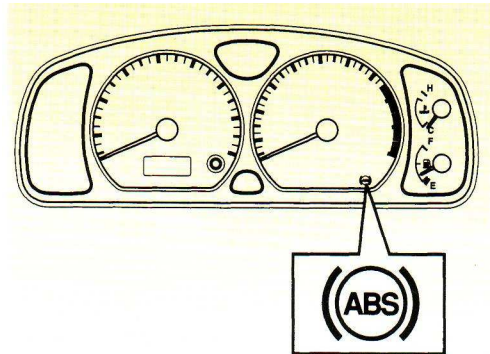


- |                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Αισθητήρας ταχύτητας τροχού  | 6. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου     |
| 2. Γρανάζι τροχού               | 7. Πρόσθετες βαλβίδες ελέγχου EDS |
| 3. Ενδεικτικό λαμπάκι ABS - EDS | 8. Αισθητήρας θέσης πεντάλ φρένου |
| 4. Ενδεικτικό λαμπάκι στάθμης   | 9. Ηλεκτροϋδραυλική μονάδα ABS    |
| 5. Πρίζα αυτοδιάγνωσης          |                                   |

Σχήμα : Τομή ηλεκτροϋδραυλικής μονάδας



Η ενδεικτική λυχνία ανάβει και πληροφορεί τον οδηγό για κάθε πρόβλημα του συστήματος. Το σύστημα ABS σε περίπτωση βλάβης βγαίνει εκτός λειτουργίας και λειτουργεί το συμβατικό σύστημα φρένων.



Σχήμα : Ενδεικτική λυχνία καλής λειτουργίας ABS

### Ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματισμός (E.C.C.)

Ο ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κλιματισμός είναι ένας σύνθετος μηχανισμός, ο οποίος ρυθμίζει ακριβώς την θερμοκρασία που έχει προεπιλεγεί. Ο υπολογιστής του συστήματος συνδυάζει άψογα τη λειτουργία των συσκευών ψύξης και θέρμανσης και κρατά σταθερή την θερμοκρασία του χώρου επιβατών, χωρίς να επηρεάζεται από τις αλλαγές των εξωτερικών συνθηκών.

Ο υπολογιστής επεξεργάζεται τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, στους αεραγωγούς και στο εξωτερικό περιβάλλον, και σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του οχήματος που είναι καταχωρημένα στη μνήμη του (όγκος, συνολική γυάλινη επιφάνεια, μόνωση κ.α.), καθορίζει την ποσότητα του αέρα όσο και τη θερμοκρασία και την κατανομή του.

Η λειτουργία του E.C.C. βασίζεται στη χρήση αισθητήρων και ενεργοποιητών όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
Αισθητήρας φωτός και ηλιακής ακτινοβολίας	Ανιχνεύει την ένταση του φωτός(ημέρα-νύχτα)
Αισθητήρας θερμοκρασίας ταμπλό	Ανιχνεύει την θερμοκρασία στο ταμπλό
Αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας	Ανιχνεύει την εξωτερική θερμοκρασία
Αισθητήρας θερμοκρασίας φρέσκου αναρροφούμενου αέρα	Ανιχνεύει την θερμοκρασία του φρέσκου αναρροφούμενου αέρα
Δότης θερμοκρασίας αέρα στο χώρο ποδιών	Ελέγχει την ποσότητα της παρεχόμενης ποσότητας αέρα στον χώρο των ποδιών
Αισθητήρας πίεσης κλιματισμού	Ανιχνεύει την πίεση του ψυκτικού υγρού
ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ	Μοτέρ χώρου με ποτενσιόμετρο Μοτέρ κεντρικού κλαπέτου με ποτενσιόμετρο Μοτέρ κλαπέτου θερμοκρασίας με ποτενσιόμετρο Μοτέρ κλαπέτου στατικής πίεσης με ποτενσιόμετρο Ανεμιστήρας φρέσκου αέρα

Σχήμα : Εξαρτήματα κλιματισμού και η λειτουργία τους

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....	3
2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ.....	4
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ.....	5
2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ-ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ.....	6
2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	7
2.6 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ.....	12
3.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	12
3.3 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ.....	12
3.4 ΓΩΝΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ.....	18
3.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	23
3.6 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ, ΥΨΟΥΣ, ΒΑΡΟΥΣ, ΟΓΚΟΥ.....	30
4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ.....	31
4.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ.....	39
4.4 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
5.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ.....	45
5.2 ΜΑΝΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ.....	45
5.3 ΕΛΑΣΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
6.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	55
6.2 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ ΥΓΡΟΥ.....	55
6.3 ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΕΛΑΣΜΑ.....	56
6.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	59
6.5 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ.....	62
6.6 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
7.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ.....	66
7.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	68
7.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΤΕΝΩΣΗΣ.....	68
7.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΟΗ.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ.....	78
8.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	79
8.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	84
8.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	92
8.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ.....	94
8.6 ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
9.1 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ.....	98

9.2 ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ.....	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	
10.1 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	106
10.2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΕΝΔΕΙΚΤΕΣ.....	107
10.3 ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΕΝΔΕΙΚΤΕΣ.....	111
10.4 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ.....	115
10.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	117
10.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΜΙΚΡΟΎΠΟΛΟΓΙΣΤΗ.....	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	
11.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	120
11.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	123
11.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ....	131

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Peter Elgar : "ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ", Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
2. Δουλγέρης Γεώργιος-Ζαραγκούλιας Νικόλαος:"Τεχνολογία ελέγχων και διαγνώσεων", Υπουργείο παιδείας και θρησκευμάτων.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. [www.efunda.com](http://www.efunda.com) "ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ"
2. [www.kistler.com](http://www.kistler.com) " ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ"
3. [www.electromotive-inc.com](http://www.electromotive-inc.com) " ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ και ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ"
4. [www.acdelco.com](http://www.acdelco.com) "ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ"
5. [www.allmeasure.com](http://www.allmeasure.com) "ΟΡΓΑΝΑ-ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ"
6. [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com) "ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ"

