



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τους αισθητήρες, τους μετατροπείς και τα χαρακτηριστικά τους. Ακόμα θα δούμε σε ποιες κατηγορίες χωρίζονται, πως είναι κατασκευασμένοι, που χρησιμοποιούνται και ποια πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα έχουν.

Πολλοί συγχέουμε αυτούς τους δύο όρους. Τι είναι όμως μετατροπέας και τι αισθητήρας; Όπως θα δούμε παρακάτω η διαφορά τους είναι πολύ μικρή.

Ένας *μετατροπέας* είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια μορφή ενέργειας ή φυσικής ποσότητας σε άλλη. Η ενέργεια ή το ερέθισμα καθορίζει την ποσότητα του σήματος.

Ένας *αισθητήρας* είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει, να μετρήσει, ή να καταγράψει ένα σήμα ή μια διέγερση και στη συνέχεια να παράγει μιας μετρήσιμη έξοδο. Οι πιο γνωστοί σε κάθε άνθρωπο αισθητήρες είναι τα μάτια, η μύτη, η γλώσσα, τα αυτιά και τα χέρια.

Σήμα ή διέγερση μπορεί να είναι :

- 1) θερμότητα
- 2) δύναμη, πίεση, ταχύτητα, επιτάχυνση και μετατόπιση
- 3) χημικές ποσότητες
- 4) μαγνητικά σήματα όπως για παράδειγμα μαγνητικό πεδίο
- 5) καιρικά φαινόμενα (υγρασία, θερμοκρασία, ένταση ανέμου κτλ)
- 6) ροή υγρής ή στερεής ποσότητας.

Την τεχνολογία των αισθητήρων μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε κυρίως για συλλογή της πληροφορίας και για έλεγχο συστημάτων.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για συλλογή πληροφορίας παρέχουν δεδομένα με σκοπό την παρουσίασή τους έτσι ώστε να είναι κατανοητή η κατάσταση των παραμέτρων του συστήματος.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο συστημάτων δεν διαφέρουν από αυτούς για συλλογή πληροφορίας. Η μόνη τους διαφορά είναι ο τρόπος με τον οποίο θα αξιοποιηθεί η πληροφορία. Για παράδειγμα σ' ένα σύστημα ελέγχου, το σήμα απ' τον αισθητήρα θα τροφοδοτήσει έναν ελεγκτή ο οποίος παράγει μια έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η επιλογή κάποιου αισθητήρα για ένα σύστημα μέτρησης ή ελέγχου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα το κόστος, το μέγεθος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά όπου πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη ώστε το σύστημά μας να λειτουργεί σωστά.

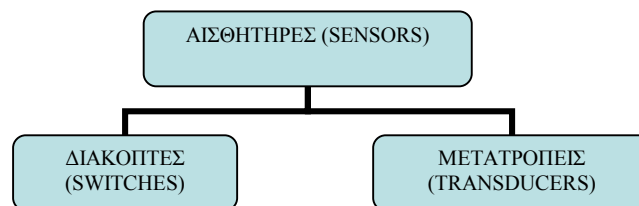
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι :

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Ακρίβεια | 11. Επαναληψιμότητα |
| 2. Βαθμονόμηση | 12. Εύρος |
| 3. Νεκρή ζώνη | 13. Ονομαστική τιμή |
| 4. Διαστάσεις | 14. Αξιοπιστία |
| 5. Ολίσθηση | 15. Απόκριση |
| 6. Σφάλμα | 16. Διακριτική ικανότητα |
| 7. Υστέρηση | 17. Ευαισθησία |
| 8. Καθυστέρηση | 18. Ευστάθεια |
| 9. Γραμμικότητα | 19. Στατικό σφάλμα |
| 10. Χρόνος λειτουργίας | 20. Ανοχή |

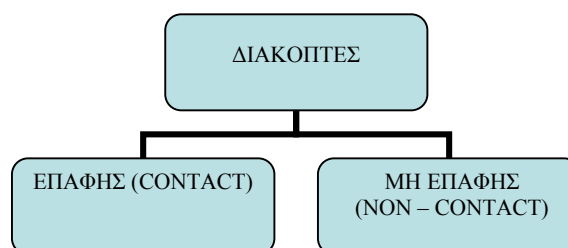
Εκτενέστερη αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Κατηγορίες αισθητήρων

Τους αισθητήρες μπορούμε να τους διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες, στους διακόπτες (SWITCHES) και στους μετατροπείς (TRANSDUCERS). Οι διακόπτες (SWITCHES) είναι οι πιο διαδεδομένοι αισθητήρες στην βιομηχανία, είναι φθηνοί και απλοί.

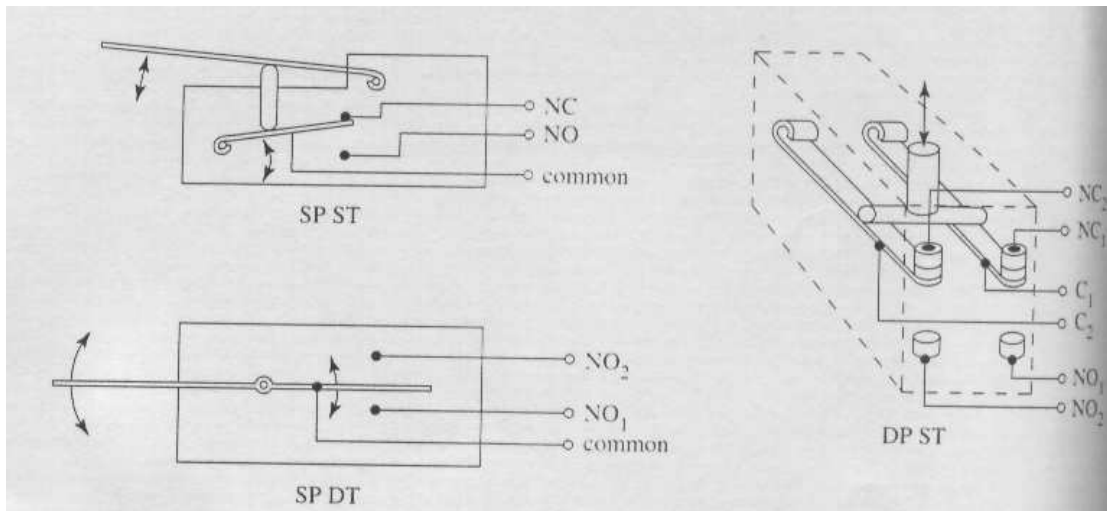
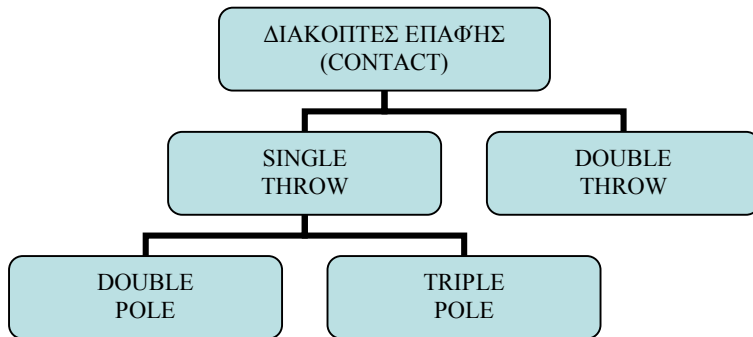


Οι διακόπτες με τη σειρά τους μπορούν να χωριστούν σε επαφής και μη επαφής.



Στους διακόπτες επαφής πρέπει το αντικείμενο που εμφανίζεται να έρθει σε επαφή με τον διακόπτη ώστε να ανιχνευτεί. Οι περισσότεροι διακόπτες έχουν δύο θέσεις **single throw (ST)**, όμως υπάρχουν και αυτοί που έχουν και μια κεντρική θέση, αυτοί είναι οι **double throw (DT)**. Οι τελευταίοι όταν βρίσκονται στη μεσαία θέση δεν κλείνουν κανένα κύκλωμα. Οι δύο θέσεων διακόπτες που αλλάζουν περισ-

σότερες από μία επαφή (πόλους), ονομάζονται double pole(DP), triple pole(TP) και ούτω καθ'εξής. (εικόνα 1)



Εικόνα 1

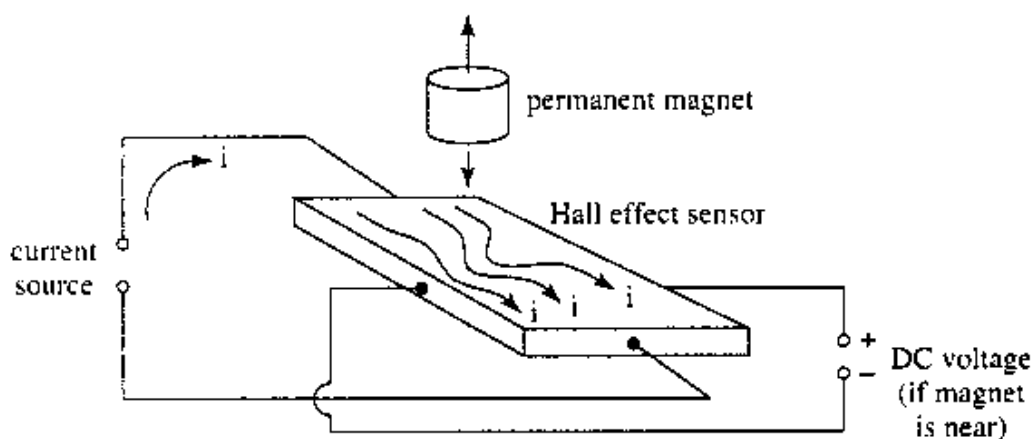
Για εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλά ρεύματα οι διακόπτες επαφής είναι κατάλληλοι, αντίθετα για εφαρμογές με χαμηλά ρεύματα οι πλέον κατάλληλοι είναι οι μικροδιακόπτες (microswitches). Όταν ένας διακόπτης ανοίγει και κλείνει γρήγορα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα τότε στις επαφές του εμφανίζεται ηλεκτρικό τόξο με αποτέλεσμα αυτός να αλλάζει κατάσταση χωρίς να έχει έρθει σε επαφή το αντικείμενο. Σε ευαίσθητα συστήματα αυτό το πρόβλημα λύνεται με δύο τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος λέγεται **debouncing** και δεν είναι τίποτα άλλο από ένα πρόγραμμα μηχανής. Αυτή η μέθοδος δεν επιτρέπει στο διακόπτη να αναγνωρίσει δυο διαδοχικά “on” εκτός αν υπάρχει μια χρονική καθυστέρηση μεταξύ τους.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση διακόπτη μη επαφής(non-contact). Στους διακόπτες αυτούς δεν υπάρχει καμία φυσική επαφή του διακόπτη με το αντικείμενο προς ανίχνευση. Αυτοί χρησιμοποιούνται :

- Όταν το αντικείμενο που θα ανιχνευτεί είναι πολύ μικρό, ελαφρύ ή μαλακό ώστε να είναι αδύνατον να ενεργοποιήσει τον διακόπτη.
- Για να ξεπεράσουμε το παραπάνω πρόβλημα.
- Όταν το αντικείμενο που θα ανιχνευτεί δεν περιέχει μεταλλικά κομμάτια δηλαδή είναι κατασκευασμένο από γυαλί, χαρτί ή πλαστικό.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- Παρέχει γρήγορο ηλεκτρονικό έλεγχο

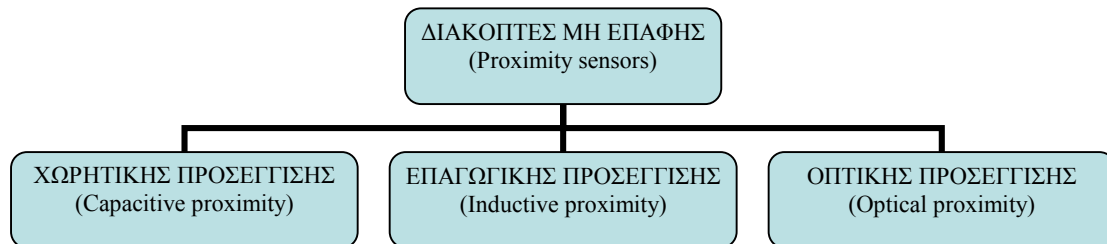
Ο πιο κοινός μη επαφής διακόπτης είναι ο **Hall effect** (εικόνα 2)



Εικόνα 2

Οι κυριότεροι τύποι διακοπών μη επαφής είναι τρεις.

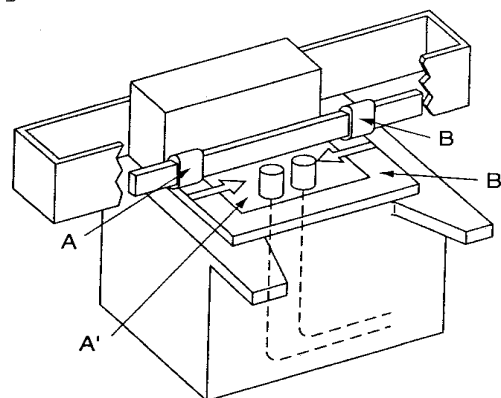
1. χωρητικής προσέγγισης (capacitive proximity)
2. επαγωγικής προσέγγισης (inductive proximity)
3. οπτικής προσέγγισης (optical proximity)



Επαγωγικής Προσέγγισης

Ένας επαγωγικός αισθητήρας προσέγγισης είναι μια αισθητήρια συσκευή που ωθείται από ένα μεταλλικό αντικείμενο. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή παρουσιάζεται στην εικόνα 3.

Αισθητήρες προσέγγισης (A "και B") ανιχνεύουν τους στόχους A και B που κινούνται στις κατευθύνσεις



Εικόνα 3

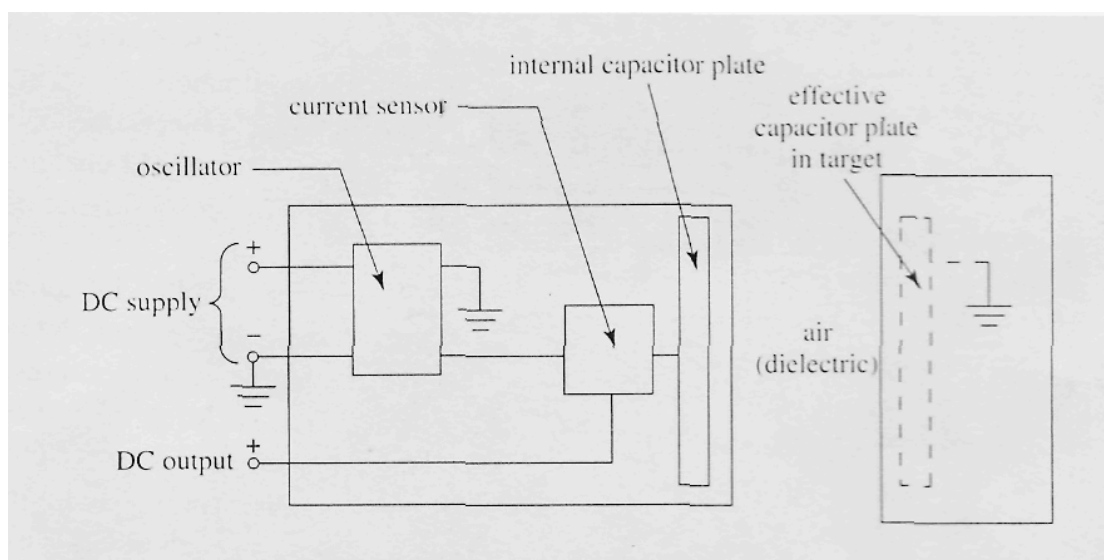
που υποδεικνύονται από τα βέλη. Όταν το A φθάνει στο A", η μηχανή αντιστρέφει την κίνησή της και αντιστρέφει πάλι όταν φθάνει το B στο B". Σε γενικές γραμμές, ένας επαγωγικός αισθητήρας αποτελείται από ένα πηνίο, έναν ταλαντωτή, ένα κύκλωμα ανίχνευσης, και μια σταθερή έξοδο.

Ένας ταλαντωτής είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την παραγωγή των κυματοειδών και των συχνοτήτων εναλλασσόμενου

ρεύματος από μια πηγή συνεχούς ενέργειας. Όταν η ενέργεια παρέχεται, ο ταλαντωτής λειτουργεί για να παραγάγει έναν υψηλής συχνότητας πεδίο. Αυτήν τη στιγμή, δεν πρέπει να υπάρξει κανένα αγώγιμο υλικό στον υψηλής συχνότητας πεδίο. Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο περάσει τον υψηλής συχνότητας τομέα, προκαλούνται δινορεύματα στην επιφάνεια του στόχου. Αυτό οδηγεί σε μια απώλεια ενέργειας στο κύκλωμα ταλαντωτών συνεπώς, αυτό προκαλεί ένα μικρότερο πλάτος της ταλάντωσης. Το κύκλωμα ανίχνευσης αναγνωρίζει την μεταβολή του πλάτους και παράγει ένα σήμα το οποίο θα αλλάξει την έξοδο του αισθητήρα σε ON ή OFF. Όταν το αντικείμενο αφήσει την περιοχή ανίχνευσης, ο ταλαντωτής συνεχίζει να παράγει εναλλασσόμενο σήμα, ενώ ο αισθητήρας επιστρέφει την κανονική του κατάσταση.

Χωρητικής Προσέγγισης

Ένας χωρητικός αισθητήρας προσέγγισης είναι μια αισθητήρια συσκευή που ενεργοποιείται από ένα μεταλλικό ή μη αντικείμενο. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αρχή του επαγωγικού αισθητήρα προσέγγισης με την διαφορά ότι αντί για πηνίο έχει δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια όπως ένας απλός πυκνωτής.



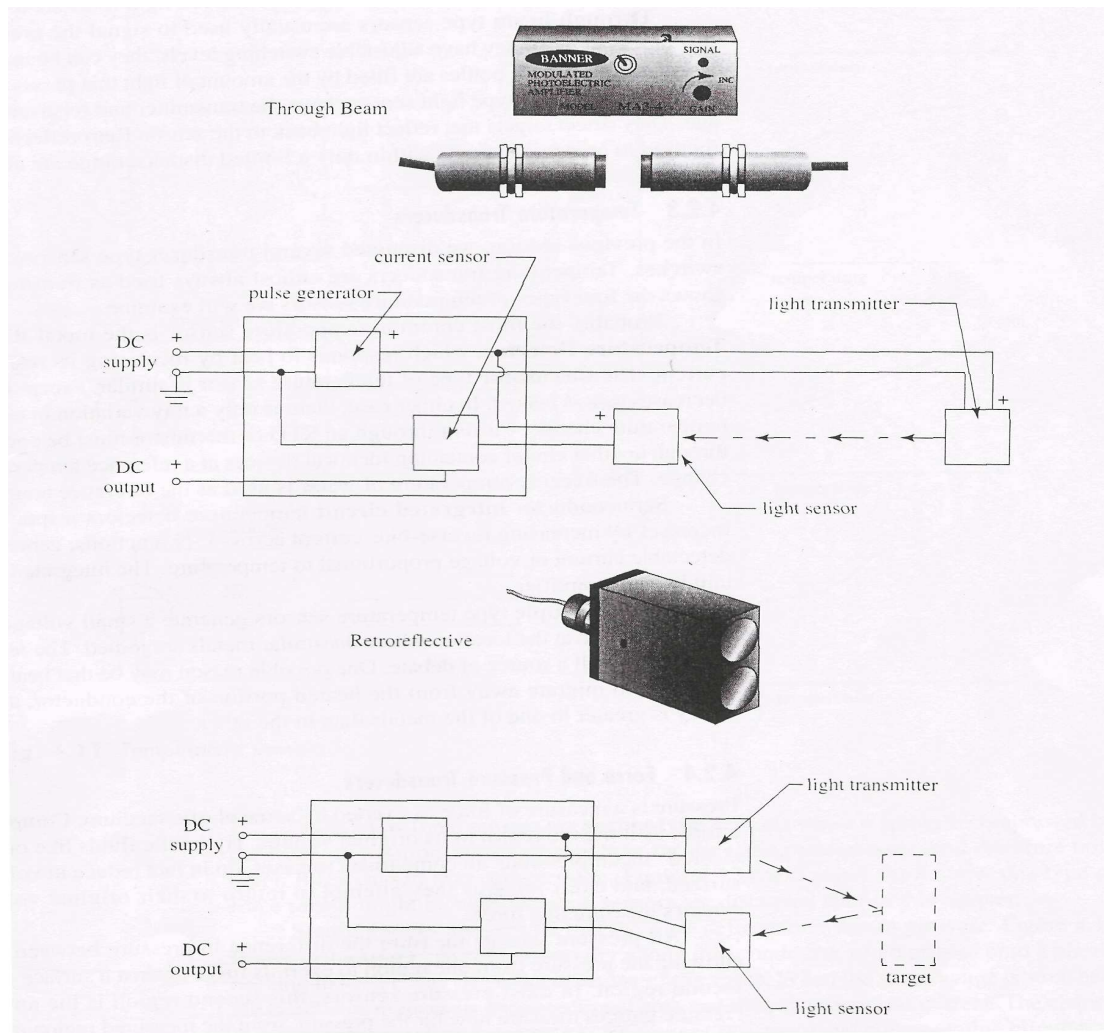
Εικόνα 4

Οι περισσότεροι χωρητικοί αισθητήρες εγγύτητας μπορούν να προσαρμοστούν στο διακόπτη σε διαφορετικά επίπεδα εσωτερικής τρέχουσας ροής, έτσι ώστε ο αισθητήρας μπορεί να ρυθμιστεί για να αισθανθεί ένα ευρύ φάσμα των υλικών, σε μια διευθετήσιμη απόσταση. Οι χωρητικοί αισθητήρες εγγύτητας είναι γενικά μεγαλύτεροι και ακριβότεροι από τους επαγωγικούς αισθητήρες εγγύτητας. Μπορούν να δώσουν τις ψεύτικες αναγνώσεις εάν δεν χρησιμοποιούνται προσεκτικά. Όταν χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει την παρουσία ενός υλικού χαμηλής πυκνότητας, μπορεί να είναι από την παρουσία ενός απόμακρου, υψηλότερου υλικού πυκνότητας ακόμα κι αν το μέρος χαμηλής πυκνότητας δεν είναι παρόν.(εικόνα 4)

Οπτικής προσέγγισης (optical proximity)

Οι αισθητήρες οπτικής προσέγγισης είναι ακριβότεροι από τους επαγωγικούς και σχεδόν την ίδια αξία με τους χωρητικούς. Χρησιμοποιούνται πολύ στους αυτοματισμούς. Σ' αυτήν την κατηγορία αισθητήρων έχουμε δύο τύπους, τους through beam και τους retroreflective. Οι δύο αυτοί τύποι φαίνονται στην εικόνα 5. Μια διάταξη οπτικής προσέγγισης περιλαμβάνει μια πηγή φωτός και ένα ανιχνευτή φωτός.

Η πηγή φωτός εκπέμπει φως σε μια συχνότητα όπου ο αισθητήρας είναι ικανός να ανιχνεύσει μόνο αυτή και όχι κάποια άλλη δέσμη φωτός από άλλη κοντινή πηγή. Οι περισσότεροι αισθητήρες χρησιμοποιούν υπέρυθρο φως. Για να είναι πιο ασφαλής ο αισθητήρας, παράγει ένα παλμό υπέρυθρου φωτός στην προκαθορισμένη συχνότητα. Το σύστημα είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε αν το φως δεν είναι παλμικό στην συχνότητα που έχει οριστεί τότε να απορρίπτεται.



Εικόνα 5

Ο αισθητήρας φωτός είναι μια ημιαγώγιμη συσκευή όπως μια φωτοδίοδος, η οποία παράγει μικρής έντασης ρεύματος όταν η δέσμη πέσει πάνω της ή ένα φωτοτρανζιστορ ή ένας photodarlington όπου αντιθέτως επιτρέπει το ρεύμα να ρέει όταν πέσει πάνω του φως. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται φωτοαγώγιμα υλικά για αισθητήρες φωτός επειδή είναι περισσότερο αγωγιμα, το μειονέκτημα τους όμως είναι ότι έχουν καθυστέρηση, σε αντίθεση με τους ημιαγωγούς. Έτσι, όσο περισσότερο ρεύμα ο αισθητήρας ελέγχει τόσο πιο αργά ανταποκρίνεται.

Κύκλωμα ελέγχου αισθητήρα (Sensor control circuit)

Σ' ένα αισθητήρα είναι απαραίτητο και ένα κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα αυτό πρέπει να διατηρεί τη συχνότητα του παλμού του πομπού ίδια και στον αισθητήρα φωτός. Επίσης χρησιμοποιείται για να κρατάει σταθερό το επίπεδο του φωτός.

Through beam

Είναι ένας τύπος αισθητήρα όπου στέλνει ένα σήμα όταν διακοπεί το φως από την παρουσία ενός αντικειμένου. Εάν για παράδειγμα σε μια γραμμή παραγωγής μπουκαλιών , με ένα ρυθμιζόμενο διακόπτη μπορούμε να ανιχνεύσουμε αν υπάρχει ή όχι μπουκάλι και κατά πόσο είναι γεμάτο ανάλογα με την ποσότητα του φωτός που θα περάσει από το μπουκάλι.

Retroflective

Αυτός ο τύπος αισθητήρα έχει τον πομπό και το δέκτη στο ίδιο σασί. Η ανίχνευση του αντικειμένου γίνεται με αντανάκλαση της δέσμης από τον στόχο πίσω στον αισθητήρα όπως φαίνεται και στην εικόνα 5. Χρησιμοποιείται συνήθως για να ανιχνεύει αντικείμενα σε μικρές αποστάσεις.

Συστήματα αισθητήρων

Άλλος ένας σημαντικός διαχωρισμός είναι αυτός των εφαρμογών των αισθητήρων σε τρεις κατηγορίες συστημάτων. Αυτές είναι

- Σύστημα μέτρησης
- Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου
- Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου

Στην εικόνα 6 απεικονίζεται ένα βασικό σύστημα.



Εικόνα 6

Η έξοδος του συστήματος είναι διαφορετικής μορφής από αυτήν της εισόδου λόγω κάποιας διαδικασίας.

Συστήματα μέτρησης

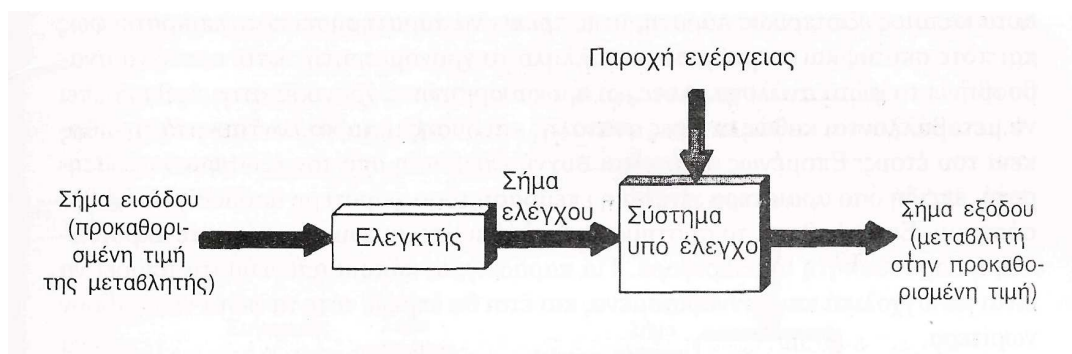
Ένα σύστημα μέτρησης εμφανίζει ή καταγράφει μία ποσοτική έξοδο που αντιστοιχεί στη μεταβλητή που μετρά, η οποία αποτελεί την ποσότητα εισόδου. Τα συστήματα μέτρησης δεν αντιδρούν στην τιμή της ποσότητας εισόδου, παρά μόνο την εμφανίζουν με έναν τρόπο που είναι κατανοητός από το χρήστη. Ένα σύστημα μέτρησης είναι ίδιο με αυτό στην εικόνα 6.

Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου

Τα συστήματα ελέγχου ανοικτού και κλειστού βρόχου έχουν σκοπό τη διατήρηση μίας μεταβλητής σε κάποια προκαθορισμένη τιμή. Τα συστήματα ελέγχου περιλαμβάνουν συστήματα μέτρησης, αλλά, σε αντίθεση με ένα σύστημα μέτρησης, η έξοδος ενός συστήματος ελέγχου ρυθμίζει κάποια παράμετρο, η τιμή της οποίας δεν εμφανίζεται οπωσδήποτε στο χρήστη.

Η εικόνα 7 δείχνει το διάγραμμα ροής ενός συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόχου. Η βάση ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι αυτό ελέγχεται από ένα σήμα που έχει προκαθορισμένη τιμή. Αυτή η προκαθορισμένη τιμή θεωρεί ότι ο απαιτούμενος έλεγχος μπορεί να

πραγματοποιείται χωρίς να μετριέται η επίδραση της εξόδου του συστήματος στην παράμετρο που πρέπει να ελέγχεται. Η προκαθορισμένη τιμή δεν θα αλλάξει, ακόμα και αν άλλοι παράγοντες αλλάξουν, και επομένως καταστήσουν την έξοδο του συστήματος ανακριβή.



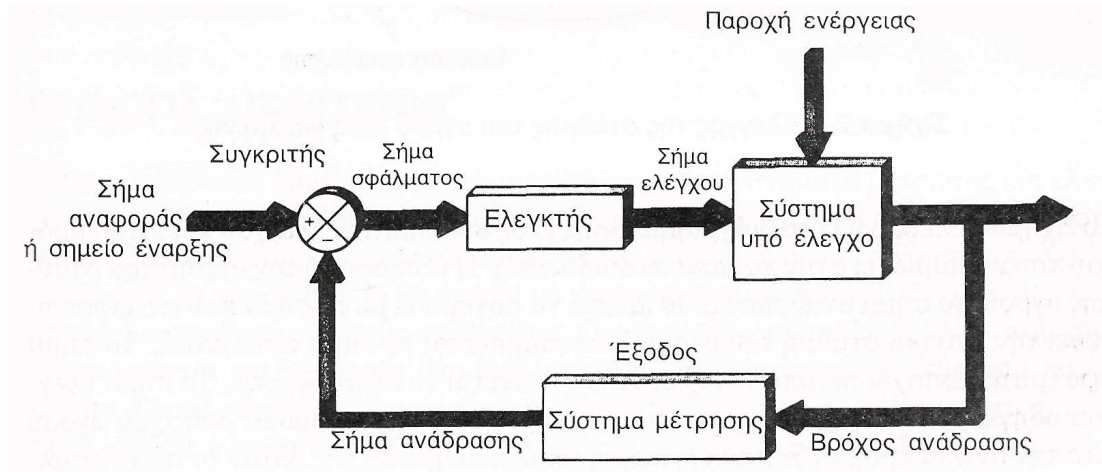
Εικόνα 7

Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου

Σε ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου η κατάσταση της εξόδου επηρεάζει άμεσα την κατάσταση της εισόδου. Ένα τέτοιο σύστημα μετρά την τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου στην έξοδο του συστήματος και τη συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή.

Αναφερόμενοι στην εικόνα 8, η οποία απεικονίζει το διάγραμμα ροής ενός συστήματος κλειστού βρόχου, η επιθυμητή τιμή ονομάζεται *σήμα αναφοράς (reference signal)* ή *σημείο έναρξης (set point)*. Αυτή συγκρίνεται με το σήμα από τη συσκευή μέτρησης, που ονομάζεται *σήμα ανάδρασης (feedback signal)*. Η διαφορά ανάμεσα στο σήμα ανάδρασης και το σήμα αναφοράς είναι γνωστή ως *σήμα σφάλματος (error signal)*. Το σήμα σφάλματος στη συνέχεια τροποποιείται έτσι ώστε να ρυθμίζεται η απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα, εάν το σήμα σφάλματος είναι ένα ηλεκτρικό σήμα, μπορεί να χρειάζεται ενίσχυση. Το

τροποποιημένο σήμα σφάλματος ονομάζεται *σήμα ελέγχου (control signal)*. Το σήμα ελέγχου στη συνέχεια ρυθμίζει την έξοδο του συστήματος, έτσι ώστε το σήμα ανάδρασης να πλησιάσει την τιμή του σήματος αναφοράς. Τότε το σήμα σφάλματος θα μειωθεί στο μηδέν και έτσι θα επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.



Εικόνα 8

Τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου ρυθμίζονται από μόνα τους και επομένως είναι λιγότερο επιρρεπή σε σφάλματα από τα συστήματα ανοικτού βρόχου. Είναι γενικά πιο αποδοτικά και απαιτούν λιγότερη εξωτερική παρέμβαση από κάποιο χειριστή. Εν τούτοις, το κόστος εγκατάστασης μπορεί να είναι υψηλό και πολύπλοκο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπ' όψιν για την επιλογή του αισθητήρα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις μας. Στη συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά αυτά και τι προσδιορίζουν.

Ακρίβεια

Η *ακρίβεια (accuracy)* μίας συσκευής ή ενός συστήματος είναι ο βαθμός στον οποίο η τιμή την οποία δημιουργεί μπορεί να είναι εσφαλμένη, ή αλλιώς το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να παράγει. Στην περίπτωση ενός αισθητήρα, είναι η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη μετρούμενη τιμή. Στην πράξη, κάθε συσκευή παράγει κάποιο σφάλμα, οσοδήποτε μικρό, και έχει κάποιον πεπερασμένο βαθμό ακρίβειας.

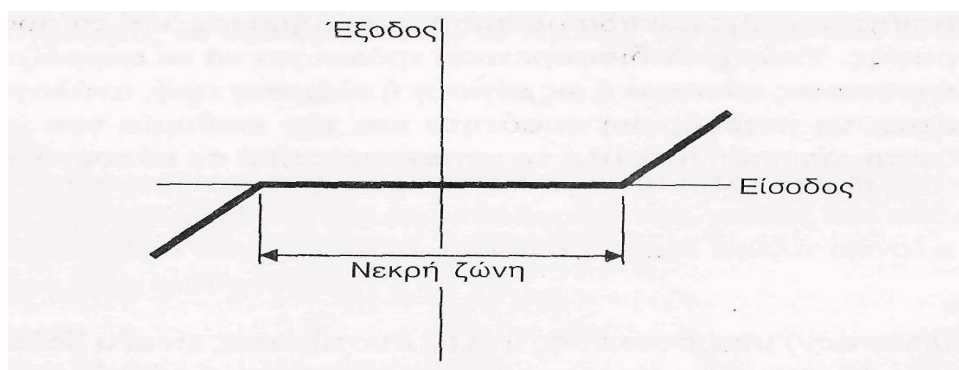
Βαθμονόμηση

Η έννοια της *βαθμονόμησης (calibration)* μίας συσκευής αναφέρεται στις μονάδες, στις οποίες βαθμολογείται η κλίμακα εμφάνισης ή καταγραφής ενός οργάνου. Για παράδειγμα, ένα είδος αισθητήρα που μετρά την ταχύτητα ενός οχήματος παράγει μία ηλεκτρική έξοδο.

Νεκρή ζώνη

Όταν οι προδιαγραφές αναφέρονται σε *μία νεκρή ζώνη (dead-zone, dead-band)*, αυτή δηλώνει το μέγιστο ποσό αλλαγής της μετρούμενης ποσότητας που δεν προκαλεί αλλαγή στην έξοδο, ή αλλιώς το εύρος τιμών εισόδου που δεν προκαλεί εμφάνιση κάποιας εξόδου. Οι νεκρές ζώνες προκύπτουν λόγω στατικής τριβής ή υστέρησης (που θα εξηγηθεί

στη συνέχεια). Το Σχήμα 9 δείχνει τα χαρακτηριστικά μίας νεκρής ζώνης.



Εικόνα 9

Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει νεκρή ζώνη καθ' όλο το εύρος ενός οργάνου και συχνά οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Ένα κοινό παράδειγμα νεκρής ζώνης υπάρχει στο διακόπτη ρύθμισης της έντασης ενός οικιακού φωτιστικού σώματος. Συχνά, όταν ο διακόπτης μεταφέρεται στην τιμή μηδέν και στη συνέχεια στραφεί για να ξεκινήσει ο φωτισμός, δεν υπάρχει άμεση απόκριση, δηλαδή η λάμπα δεν φωτίζει αμέσως. Στην περίπτωση αυτή η νεκρή ζώνη εκτείνεται από το σημείο μηδέν έως το σημείο όπου η λάμπα φωτίζει για πρώτη φορά.

Διαστάσεις

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα ή συστήματος μέτρησης είναι το μέτρο του φυσικού του μεγέθους και αναγράφονται σχεδόν πάντοτε στις προδιαγραφές του.

Ολίσθηση

Ολίσθηση (drift) ονομάζεται η φυσική τάση μίας συσκευής ή συστήματος να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του με το χρόνο και λόγω

περιβαλλοντικών μεταβολών. Εμφανίζεται τότε μεταβολή στην έξοδο που παρέχει το σύστημα, ενώ η είσοδος παραμένει αμετάβλητη, και έτσι επηρεάζεται η ακρίβεια. Η ολίσθηση λαμβάνει χώρα σε διάφορες χρονικές κλίμακες και για διάφορους λόγους. Ένα από τα πιο συνηθισμένα αλλά και σημαντικά αίτια ολίσθησης είναι η αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό στις προδιαγραφές των αισθητήρων αναφέρεται η επίδραση της θερμοκρασίας στα διάφορα χαρακτηριστικά της συσκευής. Σε μία παλαιότερη συσκευή μπορεί να εμφανιστεί επιπρόσθετη ολίσθηση λόγω γήρανσης των υλικών κατασκευής, όπως είναι η οξείδωση κάποιων μεταλλικών μερών της. Ολίσθηση μπορεί επίσης να προκληθεί από μηχανική διάβρωση ή ιδιοθέρμανση κάποιων τμημάτων της συσκευής.

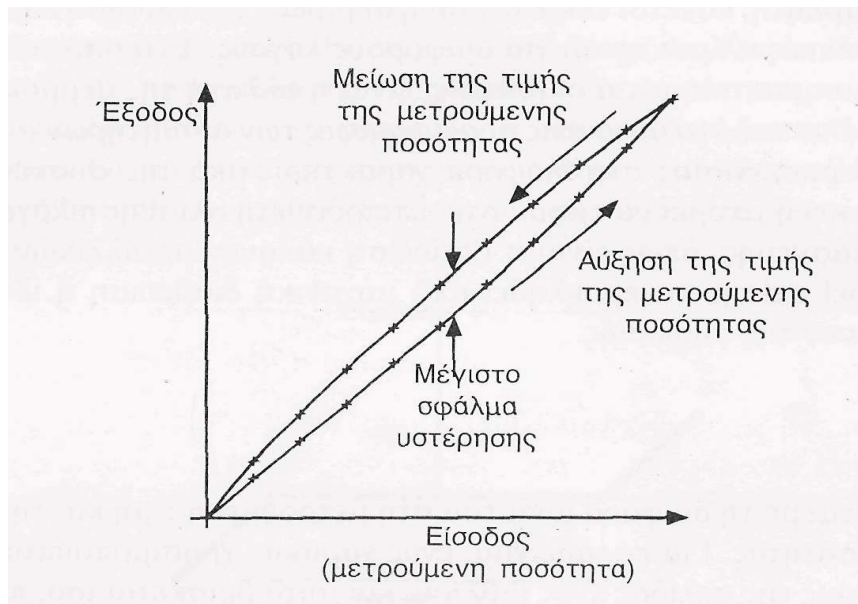
Σφάλμα

Το *σφάλμα* ισούται με τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή μίας ποσότητας.

Υστέρηση

Η *υστέρηση* προκαλεί διαφορές στην έξοδο που δίνει ένας αισθητήρας, όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Με τον τρόπο αυτό παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής.

Η είσοδος του αισθητήρα, δηλαδή η μετρούμενη ποσότητα, αυξάνει με σταθερό βήμα. Όταν φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή, μειώνεται με το ίδιο σταθερό βήμα έως ότου λάβει ξανά την τιμή μηδέν. Η γραφική παράσταση δείχνει τη διαφορά που υπάρχει στην έξοδο του αισθητήρα όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνει ή μειώνεται. Αυτό το γεγονός ονομάζεται *υστέρηση (hysteresis)* του συστήματος.



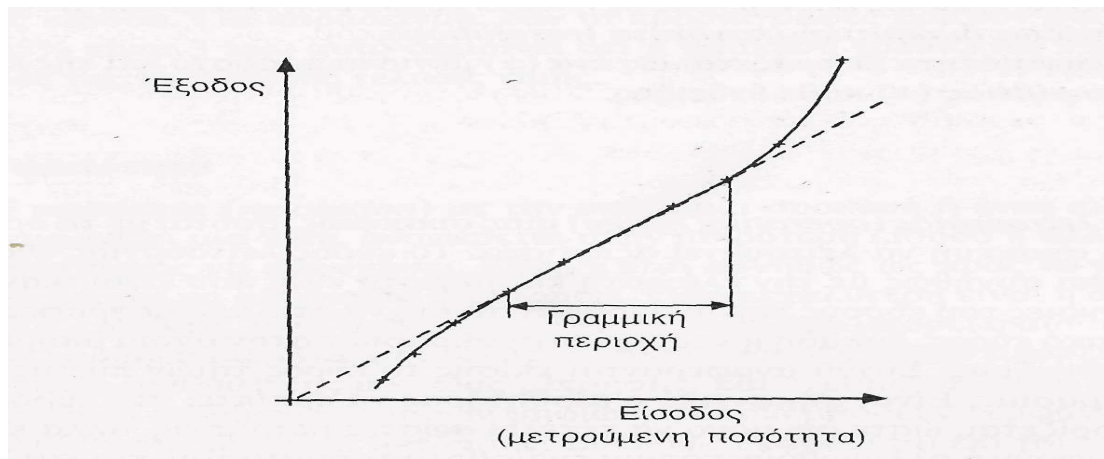
Εικόνα 10

Καθυστέρηση

Καθυστέρηση (lag) ονομάζεται η καθυστέρηση της αλλαγής της τιμής εξόδου ενός αισθητήρα ως προς την αλλαγή της εισόδου του. Μετριέται σε δευτερόλεπτα (ή συνηθέστερα σε κλάσματα του δευτερολέπτου). Σε μερικές εφαρμογές, όπως είναι ο έλεγχος, η καθυστέρηση μπορεί να επηρεάζει αποφασιστικά την απόδοση.

Γραμμικότητα

Η *γραμμικότητα (linearity)* ενός αισθητήρα αποτελεί το βαθμό, στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός σε μία περιοχή τιμών εισόδου, όπως εικονίζεται στο Σχήμα 11. Επίσης, η γραμμικότητα μπορεί να εκφράζεται ως προς το μέγιστο βαθμό απόκλισης από την ευθεία γραμμή, σε όλο το εύρος τιμών εισόδου, και τότε αναφέρεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας.



Εικόνα 11

Χρόνος λειτουργίας

Ο ωφέλιμος χρόνος λειτουργίας (*operating life*) ενός αισθητήρα αποτελεί ένδειξη του χρόνου, κατά τον οποίο αυτός αναμένεται να λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Εκφράζεται σε μονάδες χρόνου ή με τον αριθμό των λειτουργιών ή κύκλων λειτουργίας που μπορεί να διεκπεραιώσει με επιτυχία.

Επαναληψιμότητα

Η επαναληψιμότητα μίας συσκευής είναι ο βαθμός στον οποίο αυτή παράγει το ίδιο αποτέλεσμα όταν, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τροφοδοτείται με ακριβώς την ίδια είσοδο. Στα αγγλικά αποδίδεται με τη λέξη *precision*, η οποία συχνά συγχέεται με την καθημερινή έννοια της ακρίβειας (*accuracy*). Στις προδιαγραφές των συσκευών η επαναληψιμότητα ορίζεται με γενικούς όρους (όπως ότι το όργανο διαθέτει υψηλή ακρίβεια, *high-precision*), αλλά και με του; ειδικούς όρους *repeatability* και *reproducibility*.

Εύρος

Το εύρος λειτουργίας (*operating range*) μίας συσκευής ισούται με τα όρια, στα οποία, μπορεί η συσκευή να λειτουργεί αξιόπιστα. Το εύρος

λειτουργίας ενός αισθητήρα εκφράζεται συνήθως με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρά.

Ονομαστική τιμή

Η *ονομαστική τιμή (rating)* μίας συσκευής αποτελεί το σύνολο των βέλτιστων συνθηκών, ηλεκτρικών, μηχανικών κ.ά., υπό τις οποίες αυτή θα λειτουργεί με επιτυχία και ασφάλεια.

Αξιοπιστία

Η *αξιοπιστία (reliability)* μίας συσκευής είναι συγγενής έννοια με το χρόνο λειτουργίας της, και συχνά μπορεί να αναφέρεται αντί για αυτόν, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα της συσκευής να λειτουργεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες για μία δεδομένη χρονική περίοδο ή ένα δεδομένο αριθμό κύκλων λειτουργίας, παραμένοντας πάντοτε στα πλαίσια των προδιαγραφών.

Απόκριση

Η *απόκριση (response)* μίας συσκευής ισούται με το χρόνο που απαιτεί για να λάβει την τελική τιμή εξόδου της για μία δεδομένη είσοδο. Μπορεί να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου, ή κάποιες φορές ως ποσοστό επί της τελικής τιμής εξόδου.

Διακριτική ικανότητα

Η *διακριτική ικανότητα (resolution)* με την οποία μία συσκευή ή ένας αισθητήρας ανιχνεύει ή εμφανίζει μία τιμή, αναφέρεται στην

μικρότερη είσοδο ή αλλαγή εισόδου που μπορεί αυτός να ανιχνεύσει. Εκφράζεται συνήθως ως προς το μικρότερο διάστημα που μπορεί να ανιχνευθεί ή μετρηθεί, Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα ενός ενδείκτη, τόσο μικρότερο είναι το βήμα που μπορεί ο αισθητήρας να μετρήσει.

Ευαισθησία

Η *ευαισθησία (sensitivity)* εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας. Άρα είναι:

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\text{μέγιστη τιμή εξόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εξόδου}}{\text{μέγιστη τιμή εισόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εισόδου}}$$

Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία ορίζονται από την παραπάνω εξίσωση και επομένως διαφέρουν, ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα. Για παράδειγμα, όπως θα δούμε στη συνέχεια, υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν μικρές αποστάσεις όπου κινείται κάποιο αντικείμενο και παρέχουν τάση. Στην περίπτωση αυτή η ευαισθησία θα εκφράζεται σε volt ανά mm. Εάν η σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη ποσότητα και την έξοδο είναι γραμμική, η ευαισθησία μπορεί να εκφράζεται ως προς το όλο εύρος. Εάν δεν είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία της συσκευής θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και θα αναφέρεται ως προς συγκεκριμένες περιοχές τιμών εισόδου.

Ευστάθεια

Η *ευστάθεια (stability)* αποτελεί το μέτρο της, μεταβολής της εξόδου μίας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά, κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης χρονικής περιόδου.

Στατικό σφάλμα

Το *στατικό σφάλμα (static error)* είναι ένα σταθερό σφάλμα που υπεισέρχεται καθ' όλο το εύρος τιμών εισόδου μίας συσκευής. Εάν αυτό το σφάλμα είναι γνωστό, τότε μπορεί να αντισταθμιστεί χωρίς να υπάρξει υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος.

Ανοχή

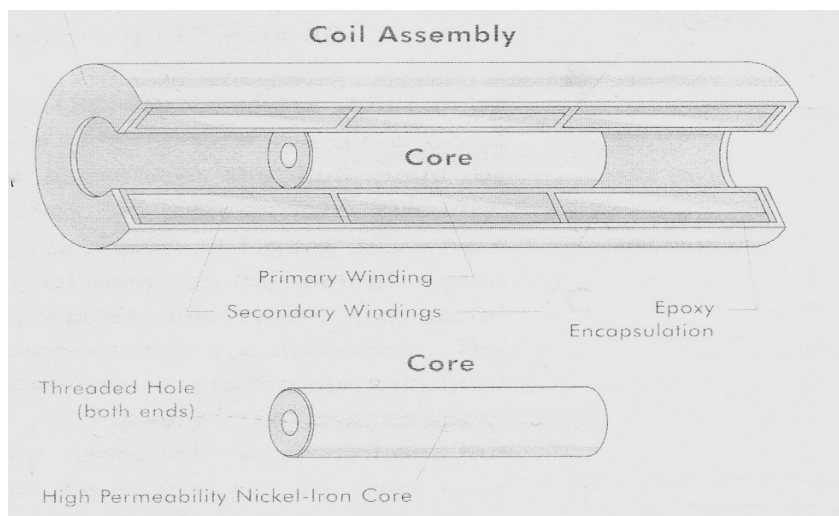
Η *ανοχή (tolerance)* μίας συσκευής είναι το μέγιστο ποσό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Ανάλογα με τη φύση της συσκευής, μπορεί συχνά να αναφέρεται η ανοχή αντί της ακρίβειας στις προδιαγραφές.

Αφού αναλύσαμε τις κατηγορίες των αισθητήρων και των μετατροπέων, πως χωρίζονται και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, στις επόμενες σελίδες θα αναφερθούμε στους κυριότερους τύπους που χρησιμοποιούνται σήμερα, δηλαδή στους αισθητήρες και μετατροπείς πίεσης-δύναμης, θερμοκρασίας, μετατόπισης, ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και μικροκύματα, στους αισθητήρες μέτρησης καιρικών φαινομένων καθώς και στους θέσεως-μετατόπισης. Προτού ξεκινήσουμε αυτήν τη μελέτη θα αναφερθούμε στα LVDT (Γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής).

Γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής (LVDT)

Ένας LVDT μετατρέπει μια ευθύγραμμη κίνηση σε ηλεκτρικό σήμα. Ο LVDT μπορεί να μετρήσει κινήσεις από μερικά εκατοστά της

ίντσας μέχρι μερικές ίντσες, μπορεί να μετρήσει δηλαδή μετακίνηση μέχρι ± 20 ίντσες ή $\pm 0,5$ μέτρα.



Εικόνα 12

Η δομή του φαίνεται στην εικόνα 12. Η εσωτερική δομή του μετασχηματιστή αποτελείται από ένα πρωτεύων τύλιγμα στο κέντρο, μεταξύ ενός ζευγαριού πρωτευόντων και δευτερευόντων τυλιγμάτων. Οι σπείρες είναι τοποθετημένες σε μια κοίλη από θερμικά σταθερό ενισχυμένο γυαλί για να μην επηρεάζεται από την υγρασία. Ακόμα τυλίγονται σε μια διαπερατή υψηλή μαγνητική ασπίδα. Το πηνίο είναι συνήθως το σταθερό στοιχείο του αισθητήρα αυτού.

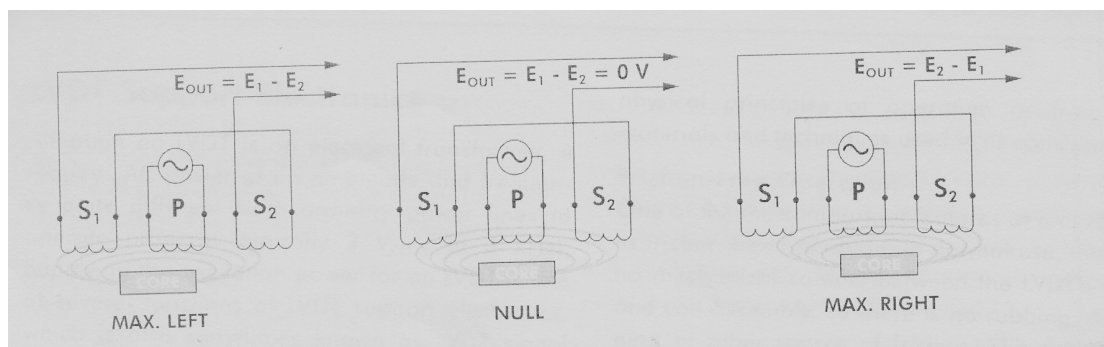
Το κινητό τμήμα του LVDT έχει κυλινδρική μορφή οπλισμένο από μαγνητισμένο μόνιμο υλικό που ονομάζεται πυρήνας, ο οποίος μετακινείται κατά μήκος του άξονα του πηνίου ανάλογα με το αντικείμενο προς μέτρηση.

Λειτουργικά, το πρωτεύων τύλιγμα τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα κατάλληλου πλάτους και συχνότητας. Η έξοδος του είναι διαφορετική από το σήμα εισόδου εξαιτίας των δύο δευτερευόντων τυλιγμάτων η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την κίνηση του πυρήνα μέσα στο πηνίο του LVDT. Συνήθως η εναλλασσόμενη τάση εξόδου,

μετατρέπεται σε ένα υψηλού επιπέδου συνεχούς τάσης ή ρεύματος και αυτό γιατί είναι πιο βολικό στη χρήση.

Σ' αυτή την παράγραφο θα εξηγήσουμε πως λειτουργεί το LVDT. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το πρωτεύων τύλιγμα τροφοδοτείται από μια ac πηγή. Έτσι αναπτύσσεται μια μαγνητική ροή από τον πυρήνα με τα γειτονικά δευτερεύοντα τυλίγματα S_1 και S_2 . Τώρα αν ο πυρήνας βρίσκεται στη μέση μεταξύ των τυλιγμάτων S_1 και S_2 τότε έχουμε ίση μαγνητική ροή στα δευτερεύοντα τυλίγματα και κατά συνέπεια οι τάσεις E_1 και E_2 των S_1 και S_2 αντίστοιχα θα είναι ίσες, άρα η έξοδος θα είναι διαφορά τους ($E_1 - E_2$), άρα θα έχει μηδενική τάση. Η συγκεκριμένη θέση του πυρήνα λέγεται null point.

Στην περίπτωση που ο πυρήνας είναι πιο κοντά στο S_1 από το S_2 τότε θα έχουμε μεγαλύτερη ροή στο S_1 και μικρότερη στο S_2 επομένως η τάση E_1 θα αυξάνεται και η E_2 θα μειώνεται με αποτέλεσμα η διαφορά δυναμικού ($E_1 - E_2$). Αντίθετα αν ο πυρήνας μετακινηθεί προς το S_2 τότε θα έχουμε περισσότερη ροή στο S_2 τύλιγμα από το S_1 επομένως η E_2 θα μεγαλώνει ενώ η E_1 θα μειώνεται με αποτέλεσμα να έχουμε μια διαφορά τάσης ($E_2 - E_1$). Οι τρεις καταστάσεις που αναφέραμε απεικονίζονται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13

Τα LVDT έχουν ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα, τα περισσότερα από τα οποία αντλούνται από βασικές αρχές λειτουργίας ή από τα υλικά και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του. Τα χαρακτηριστικά εκείνα είναι :

Μηδενική τριβή λειτουργίας

Κατά την συναρμολόγηση του LVDT δεν υπάρχει καμία μηχανική επαφή μεταξύ του πηνίου και του πυρήνα έτσι δεν υπάρχει τριβή. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι χρήσιμο για τον έλεγχο υλικών και για την μέτρηση εκτοπίσματος.

Άπειρη ανάλυση

Όταν λέμε άπειρη ανάλυση εννοούμε ότι μπορεί να μετρήσει απεριόριστα μικρές αλλαγές στη θέση του πυρήνα. Αυτή η ικανότητα περιορίζεται μόνο από το θόρυβο του LVDT και από την ανάλυση της εξόδου.

Απεριόριστη διάρκεια μηχανικής ζωής

Εξαιτίας του ότι δεν υπάρχει επαφή μεταξύ του πηνίου και του πυρήνα, δεν υπάρχουν και τριβές. Αυτό σημαίνει ότι το LVDT έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής και χρησιμοποιείται σε υψηλές και αξιόπιστες εφαρμογές όπως σε αερσκάφοι, δορυφόρους, διαστημόπλοια και σε πυρηνικές εγκαταστάσεις .

Ατέρμονη διαδρομή του πυρήνα χωρίς να καταστραφεί

Το εσωτερικό των περισσοτέρων μετατροπέων είναι ανοικτό από τα δύο άκρα τους έτσι ο πυρήνας μπορεί να περάσει πέρα από το πηνίο του αισθητήρα χωρίς να προκαλέσει καμία ζημιά.

Εεχωριστός άξονας ευαισθησίας

Το LVDT ανταποκρίνεται μόνο στην κίνηση του πυρήνα κατά μήκος του άξονα του πηνίου. Κατά συνέπεια, ένα LVDT μπορεί συνήθως να λειτουργήσει χωρίς δυσμενές συνέπειες στις εφαρμογές που περιλαμβάνουν κακοευθυγραμμισμένα ή επιπλέοντα κινούμενα μέλη, και σε περιπτώσεις όπου ο πυρήνας δεν ταξιδεύει σε μια ακριβώς ευθεία γραμμή.

Διασπασμένος πυρήνας και πηνίο

Επειδή η μόνη αλληλεπίδραση μεταξύ του πηνίου και του πυρήνα είναι η μαγνητική σύζευξη, μπορεί το πηνίο να απομονωθεί από τον πυρήνα βάζοντας μη-μαγνητικό σωλήνα μεταξύ του πυρήνα και του κυλίνδρου.

Με αυτό τον τρόπο μπορεί να τοποθετηθεί στο σωλήνα υγρό σε πίεση στο οποίο ο πυρήνας θα κινείται ελεύθερα, ενώ στο πηνίο δεν θα ασκείται πίεση. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα χρησιμοποιείται συχνά σε LVDTs που χρησιμοποιούνται για την ανατροφοδότηση πηνίων θέσεως στις υδραυλικές αναλογικές ή σέρβο βαλβίδες.

Αντοχή σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες

Τα υλικά και ο τρόπος κατασκευής του LVDT το κάνουν ανθεκτικό σε διάφορες περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Η συγκόλληση των τυλιγμάτων σε μια θήκη έχουν σαν αποτέλεσμα άπειρη αντίσταση στην υγρασία. Ακόμα η εσωτερική υψηλή διαπερατότητα μαγνητικού

πεδίου ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις από εξωτερικά εναλλασσόμενα πεδία. Το LVDT μπορεί να λειτουργήσει σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, χρησιμοποιώντας όμως τα κατάλληλα υλικά μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή σε επίπεδα ακτινοβολίας σε πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Επαναληπτικότητα στο μηδενικό σημείο (null point)

Η θέση του μηδενικού σημείου (null point) είναι εξαιρετικά σταθερή και επαναλαμβανόμενη, σε πολύ μεγάλο εύρος θερμοκρασίας. Το χαρακτηριστικό αυτό τα κάνει περιζήτητα στα κλειστά κυκλώματα ελέγχου και σε όργανα εξισορρόπησης σερβομηχανισμών.

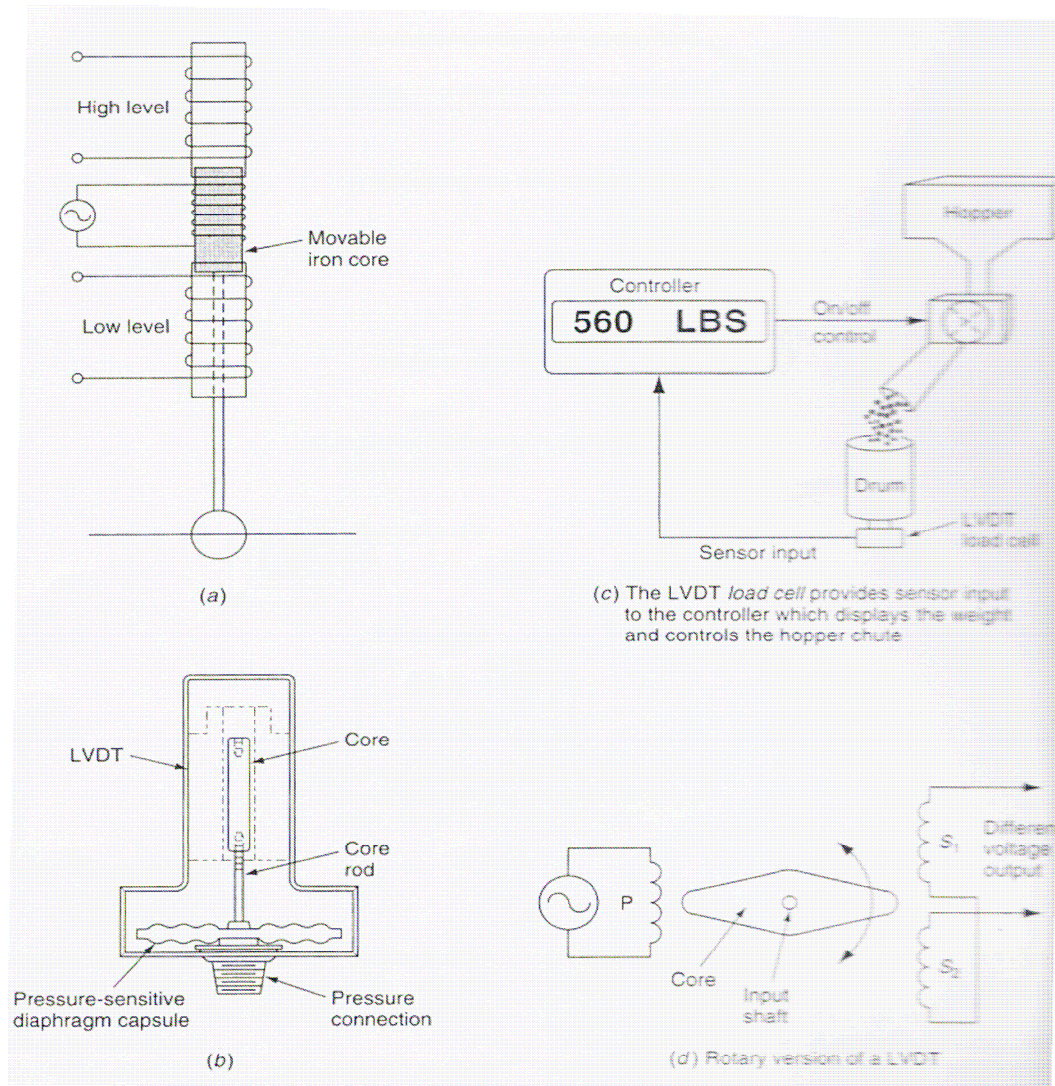
Γρήγορη δυναμική ανταπόκριση

Η απουσία τριβής κατά την διάρκεια της λειτουργίας επιτρέπουν στο LVDT να αποκρίνεται πολύ γρήγορα στις αλλαγές θέσης του πυρήνα .

Απόλυτη έξοδος

Με το χαρακτηριστικό αυτό εννοούμε ότι σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας τα δεδομένα θέσεως που θα στέλνονταν από το LVDT δεν θα χαθούν. Μόλις το μετρητικό σύστημα ξεκινήσει πάλι η τιμή της εξόδου του θα είναι ίδια με αυτή που ήταν πριν σταματήσει η τροφοδοσία.

Τα χαρακτηριστικά αυτά κάνουν τα LVDT περιζήτητα στη βιομηχανία στους αυτοματισμούς , στα κυκλώματα ελέγχου και σε πολλές άλλες εφαρμογές.



Εικόνα 14

Για παράδειγμα στην εικόνα 14 βλέπουμε δύο εφαρμογές. Στην εικόνα 14(a) ο LVDT αισθητήρας χρησιμοποιείται για να ελέγχει την στάθμη του νερού σε ένα δοχείο. Όταν η στάθμη είναι χαμηλή, ο πυρήνας κινείται χαμηλότερα από το πηνίο, έτσι η έξοδος θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του πηνίου. Εφαρμόζοντας την έξοδό του σε κάποιο κύκλωμα ελέγχου μπορούμε να ανοιγοκλείνουμε μια βαλβίδα ώστε να φέρουμε την στάθμη του νερού εκεί που θέλουμε. Στην εικόνα 14(b) βλέπουμε το LVDT να χρησιμοποιείται ως αισθητήρας για χαμηλές πιέσεις. Η αλλαγή της πίεσης στην κάψουλα μετριέται από το LVDT. Στην εικόνα 14(c) με το LVDT ελέγχουμε το βάρος του δοχείου ώστε να

έχει πάντα την ποσότητα που επιθυμούμε. Τέλος στην εικόνα 14(d) βλέπουμε μια περιστροφική έκδοση του μετατροπέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ – ΔΥΝΑΜΗΣ

Η μέτρηση της πίεσης και της δύναμης είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους, αφού αν εξετάσουμε το θέμα από τη φυσική του άποψη η πίεση είναι δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Γι' αυτό το λόγο ονομάζουμε αισθητήρες πίεσης τους αισθητήρες που μετρούν την πίεση που ασκείται σε υγρά ή αέρια, ενώ αισθητήρες δύναμης αυτούς που μετρούν την πίεση που ασκείται σε στερεά σώματα. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της δύναμης μοιάζουν με τα αισθητήρια μέτρησης της θερμοκρασίας. Αυτά είναι εύκαμπτα ελάσματα από μέταλλο ή ημιαγωγό, αγωγοί σε διάταξη μαιάνδρου, εύκαμπτοι αγωγοί χωρίς προφόρτιση και εύκαμπτα ελάσματα λεπτού φιλμ. Όταν ένας αγωγός δεχτεί πίεση κάμπτεται και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να τεντωθεί. Ο αγωγός γίνεται μακρύτερος και λεπτότερος και η αντίσταση του αυξάνει. Όταν η πίεση πάνω στον αγωγό μικρύνει, ο αγωγός επανέρχεται πιο πολύ προς το αρχικό του σχήμα και η αντίσταση του μικραίνει. Θα πρέπει να γνωρίζουμε επίσης ότι η ακρίβεια της μέτρησης ενός αισθητηρίου εξαρτάται και από τη θερμοκρασία (λόγω εσωτερικής κατασκευής). Σε αντιστάθμιση του σφάλματος λόγω της θερμοκρασίας συνδέονται πολλοί μετρητικοί αγωγοί μεταξύ τους σε διάταξη γέφυρας.

Μια άλλη μέθοδος για την μέτρηση της πίεσης είναι με χωρητικούς αισθητήρες πίεσης. Αυτοί χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ιδιότητα της χωρητικότητας για να μετρήσουν την μετατόπιση ενός διαφράγματος. Το διάφραγμα είναι ένας ελαστικός αισθητήρας πίεσης, ο οποίος μετατοπίζεται ανάλογα με τις μεταβολές της πίεσης και ενεργεί ως οπλισμός του πυκνωτή. Χρησιμοποιώντας το διάφραγμα ως οπλισμό του πυκνωτή, διασφαλίζουμε ότι η μέθοδος ανίχνευσης της μετατόπισης δεν απαιτεί επαφή και έτσι παρέχεται ηλεκτρική έξοδος με άπειρη διακριτική ικανότητα. Χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνικές για τη μέτρηση της μετατόπισης του διαφράγματος, πέρα από την αλλαγή της χωρητικότητας. Για παράδειγμα, μία παραλλαγή του αισθητήρα πίεσης που εξετάσαμε χρησιμοποιεί ένα διάφραγμα πυριτίου, στο εσωτερικό του οποίου διαχέονται ημιαγωγοί μετρητές μηχανικής τάσης. Αυτοί τοποθετούνται με τρόπο ανάλογο της γέφυρας Wheatstone. Παράγεται τότε μία σταθερή ηλεκτρική έξοδος και η διάταξη των μετρητών

μηχανικής τάσης αντισταθμίζει την επίδραση της θερμοκρασίας. Εντούτοις, οι αισθητήρες αυτής της μορφής είναι σχετικά ακριβοί.

Λόγω της ευαισθησίας τους, οι αισθητήρες διαφράγματος χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν μικρές μεταβολές πίεσης. Ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι η μέτρηση μικρών μεταβολών της ροής ενός ρευστού στις σωληνώσεις όπου ρέουν υγρά ή αέρια.

Μια ακόμη μέθοδος για τη μέτρηση της πίεσης και της δύναμης είναι η πιεζοηλεκτρική. Αυτοί οι αισθητήρες μοιάζουν με τους χωρητικούς καθώς ανιχνεύουν της μεταβολές της πίεσης μέσω της μετατόπισης ενός λεπτού μεταλλικού ή ημιαγωγικού διαφράγματος. Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση του φαινομένου, ότι όταν ορισμένοι κρύσταλλοι και κεραμικά υλικά δεχθούν μηχανική πίεση, παρουσιάζεται μια μεταφορά των φορτίων του πλέγματος τους. Ειδικότερα, τα διαφορετικά φορτισμένα ιόντα του (κρυσταλλικού) πλέγματος τους πολώνονται σε δύο αντίθετες μεταξύ τους επιφάνειες του υλικού, όπως σε ένα μαγνητικό πεδίο.

Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο υλικό είναι ο χαλαζίας (Quartz) γιατί είναι πολύ ανθεκτικός και σχετικά φτηνός. Ακόμα έχει την ιδιότητα ότι είναι ένας πολύ καλός μονωτής, έτσι ώστε η φόρτιση που παράγεται εξ αιτίας της πίεσης να μη χάνεται εύκολα. Υπάρχουν επίσης και συνδυασμοί αισθητηρίων όπως αισθητήρες που μετρούν πίεση και θερμοκρασία συγχρόνως. Κάτω από μια μεμβράνη από ευγενές μέταλλο υπάρχει λάδι και πιο κάτω βρίσκεται μια θερμοαντίσταση π.χ. μια γέφυρα με αντιστάσεις από πυρίτιο. Οι συνδυασμοί αυτοί αισθητηρίων είναι φυσικά πρακτικοί αλλά πρέπει κανείς να συμβιβαστεί με την ακρίβεια των μετρήσεων, παραδείγματος χάρη, η ποσότητα του λαδιού κάτω από τη μεμβράνη αντιδρά σχετικά αργά στις αλλαγές της θερμοκρασίας ακόμα και όταν δεν υπολογίσουμε τη θερμοχωρητικότητα της θήκης του αισθητηρίου. Όπως λοιπόν παρατηρούμε η μέτρηση της θερμοκρασίας μέσω του αισθητηρίου αυτού είναι χωρίς μεγάλες απαιτήσεις. Ένα πλεονέκτημα των αισθητηρίων ημιαγωγών είναι ότι υπάρχει δυνατότητα μέσα στην ίδια θήκη να ενσωματωθούν και άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως π.χ. ενισχυτές.

Strain gage

Ο σκοπός του μετατροπέα είναι να ανιχνεύει την ποσότητα ή το μήκος εκτοπίσματος από ένα αντικείμενο που του ασκεί κάποια δύναμη και να το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (mV). Το Strain gage μεταβάλλει την αντίσταση του ανάλογα με την μεταβολή του μήκους του, όταν του ασκείται πίεση. Ο μετατροπέας συνήθως εγκαθίσταται ως τμήμα γέφυρας Wheatstone για ηλεκτρικές εφαρμογές.

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες strain gage :

Αυτά είναι τα *bonded gage* και *unbonded gage* . Τα πρώτα είναι ολοκληρωτικά σε επαφή με το μέρος όπου ασκείται πίεση. Έτσι όσο τεντώνεται το σημείο δύναμης τόσο επιμηκύνεται το strain gage.

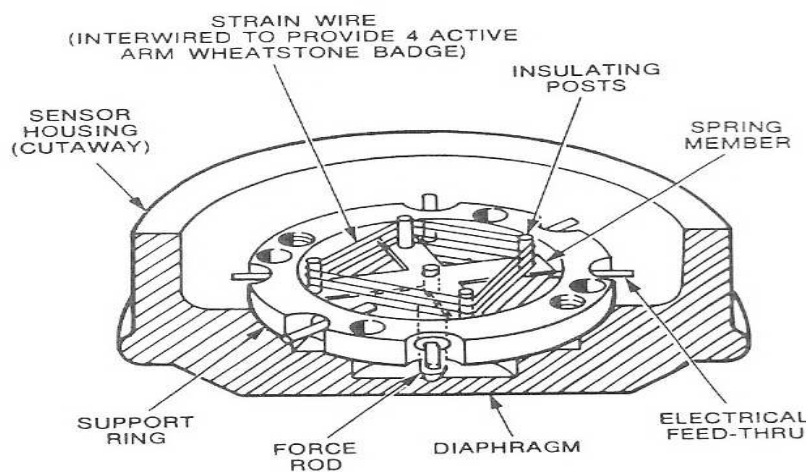
Στα δεύτερα η ένωση μεταξύ του σημείου δύναμης και του strain gage γίνεται με ένα καλώδιο, όπου όταν ασκείται δύναμη, αλλάζει το μήκος του καλωδίου.

Οποιαδήποτε αλλαγή στο μήκος του μετατροπέα συνεπάγεται με αλλαγή της αντίστασης του και στους δύο τύπους.

Κατασκευαστικά αποτελείται από υλικά μετάλλων και ημιαγωγών, είναι ακριβή, μπορούν να διεγερθούν από ac ή dc ρεύμα και έχουν άριστη στατική ή δυναμική απόκριση. Η έξοδος του αισθητήρα πίεσης είναι πολύ χαμηλή χωρίς όμως να δημιουργεί προβλήματα αφού με περιφερειακά εξαρτήματα μπορεί να λυθεί το πρόβλημα.

Unbonded Strain Gages

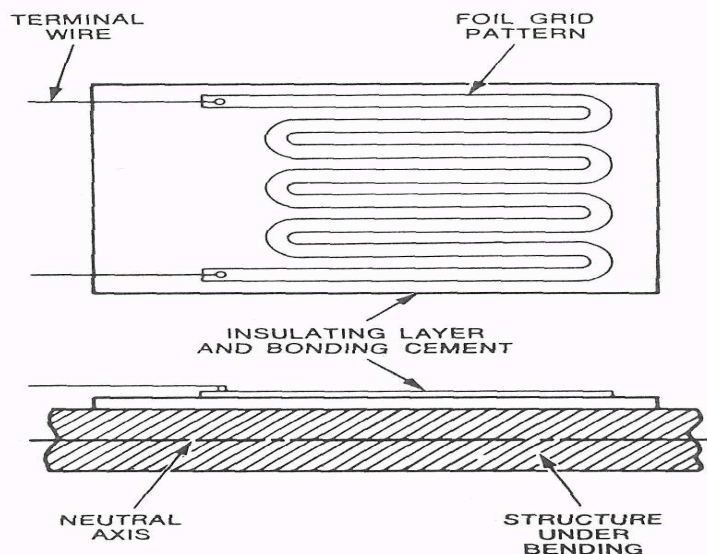
Όπως είπαμε πιο πάνω ο τύπος αυτός αποτελείται από ένα καλώδιο, όπου η διάμετρος του είναι από 0,3 έως 0,5 χιλιοστά. Σε μερικούς μετατροπείς όσο ασκείται πίεση η ένταση στο ένα τύλιγμα αυξάνεται ενώ στο δεύτερο μειώνεται. Η ένταση στα τυλίγματα μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη ευαισθησία και η ισορροπία των χαρακτηριστικών. Σε άλλους μετατροπείς έχουμε διέγερση μόνο του ενός στοιχείου με αποτέλεσμα να είναι ενεργή η μια από τις τέσσερις εξόδους της γέφυρας Wheatstone. Στην εικόνα 15 μπορούμε να δούμε την εσωτερική δομή ενός Unbonded Strain Gage.



Εικόνα 15

Foil Strain Gage

Αυτός ο τύπος αισθητήρα αποτελείται από ένα κομμάτι σύρμα ή λεπτό έλασμα επικαλυμμένο από λεπτό στρώμα μόνωσης και είναι κολλημένο στην πίσω μεριά του διαφράγματος μια προεξέχουσα κυρτή δοκός που αποκλίνει στις αλλαγές πίεσης του διαφράγματος (Εικόνα 16)



Εικόνα 16

Το σύρμα στη σύνθεσή του είναι όμοιο με αυτό του Unbonded Strain Gage, είναι σχεδιασμένα με ειδικό τρόπο ώστε να είναι ευαίσθητα σε ένα άξονα παραμόρφωσης. Στα Unbonded Strain Gage η δύναμη εφαρμόζεται κατευθείαν στο σύρμα ενώ στο Bonded gage απαιτείται περισσότερη δύναμη από το υλικό που είναι τοποθετημένο πάνω στον μετατροπέα. Για τον παραπάνω λόγο ο foil gage δεν είναι ευαίσθητος σε πιέσεις από 0 έως 10 psi. Μια λύση για μεγαλύτερη ευαισθησία στις χαμηλές πιέσεις είναι να βάλουμε μεγαλύτερο διάφραγμα ή φουσητήρες. Η καλή κατασκευή του bonded strain-gage επιτρέπει την κακή μεταχείριση του και την εφαρμογή υψηλής πίεσης, όπου άλλοι μετατροπέες θα είχαν καταστραφεί. Επίσης η κόλλα μεταξύ του gage και της επιφάνειας, ίσως να έχει κάποια ροή με αποτέλεσμα μια μικρή μετατόπιση ή κάποια αλλαγή στη θέση του gage στις υψηλές θερμοκρασίες. Όμως εξαιτίας της προσοχής κατά την κατασκευή του το μειονέκτημα αυτό μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να επιτευχθεί καλή επαναληψιμότητα και σταθερές προδιαγραφές.

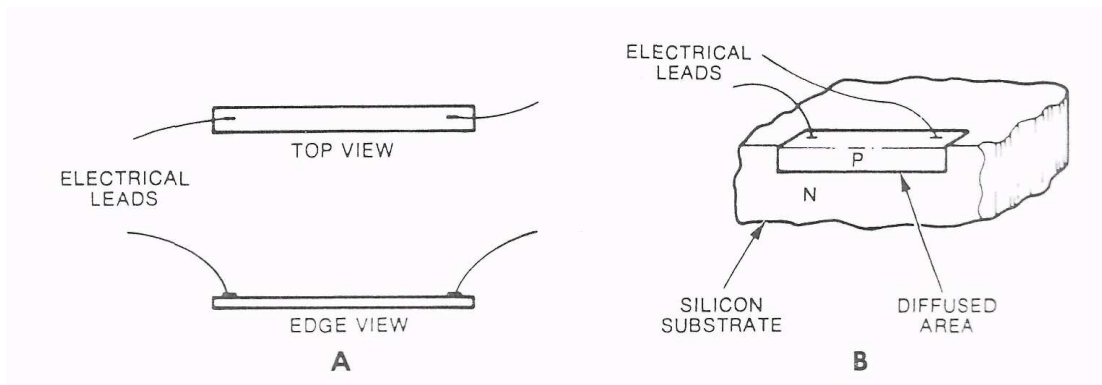
Μετά την κακή μεταχείριση και χρήση ίσως χρειάζεται αναβαθμονόμηση.

Strain gage ημιαγωγών

Τελευταία οι τεχνολογία των τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων άρχισαν να εφαρμόζονται και στους αισθητήρες πίεσης. Έτσι οι τεχνικές των IC χρησιμοποιούνται για βαθμονόμηση, έλεγχο και κατασκευή μετατροπέων πίεσης. Η υψηλή ακρίβεια, η σταθερότητα και η μεγάλη ποσότητα παραγωγής σε χαμηλό κόστος είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά των IC.

Μέσα στην οικογένεια των ημιαγωγών ή πιεζοηλεκτρικών των strain gage ξεχωρίζουν δύο τύποι αισθητήρων, οι bar gage και οι diffused gage. Οι bar gage είναι παρόμοιοι με τους bonded foil strain- gage.

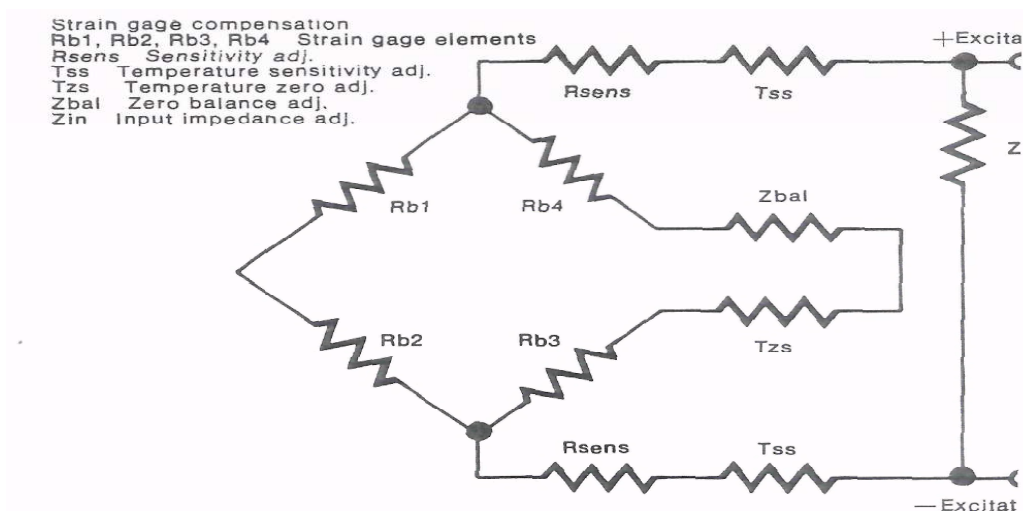
Ο μετατροπέας diffused gage χρησιμοποιεί ένα στοιχείο πυριτίου για τη μηχανική κατασκευή και το strain gage είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα του πυριτίου. Στην εικόνα 17 βλέπουμε strain gage ημιαγωγών. Στην 17A είναι bar gage ενώ στη 17B είναι diffused gage.



Εικόνα 17

Αντιστάθμιση Strain gage

Το strain gage επηρεάζεται από την πίεση που του ασκείται. Έτσι μια αλλαγή στη αντίσταση ανάλογα με την πίεση που ασκείται στον αισθητήρα συγκρίνεται με ένα μη παραμορφωμένο στοιχείο το οποίο καλείται gage factor.



Εικόνα 18

Αυτή η διάταξη αποτελείται και από άλλες αντιστάσεις και ονομάζεται γέφυρα Wheatstone (εικόνα 18) και ρυθμίζει το σήμα εξόδου της ώστε να είναι ανάλογο του είδους της μηχανικής τάσης που ασκείται. Η γέφυρα Wheatstone χρησιμοποιείται και σε άλλες συσκευές όπως για παράδειγμα στα θερμίстор. Σε αυτές τις συσκευές πρέπει η αλλαγή αντίστασης που υφίστανται να είναι βαθμονομημένη ως προς την παράμετρο που μετρούν. Όταν αλλάζει η αντίσταση ενός κυκλώματος, αναλογικά αλλάζουν το ρεύμα και η τάση σε αυτό. Έτσι η γέφυρα αποτελεί μια διάταξη που χρησιμοποιείται πολύ συχνά για να ρυθμίζει σήματα ως προς την τάση, το ρεύμα, ή την αντίσταση.

$$\text{Gage Factor: } GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

Όπου ΔR = η αλλαγή της αντίστασης

R = η τιμή της αντίστασης σε κανονικές συνθήκες

ΔL = η αλλαγή του μήκους παραμόρφωσης

L = το κανονικό μήκος

Κάθε τύπος strain gage έχει διαφορετικό Gage factor. Οι μεγάλες αλλαγές του πλάτους του σήματος είναι επιθυμητές γιατί μπορούν να δώσουν επιπλέον χαρακτηριστικά στη μέτρηση. Όπως προαναφέρθηκε κάθε τύπος strain gage έχει διαφορετικό Gage factor. Στον πίνακα 19 απεικονίζονται μερικοί τύποι αισθητήρων με τα αντίστοιχα gage factor.

ΤΥΠΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ GAGE	GAGE FACTOR
UNBONDED WIRE	4
BONDED FOIL	2
THIN FILM	2
DIFFUSED SEMICONDUCTOR	80-150
BONDED-BAR SEMICONDUCTOR	80-150

ΠΙΝΑΚΑΣ 19

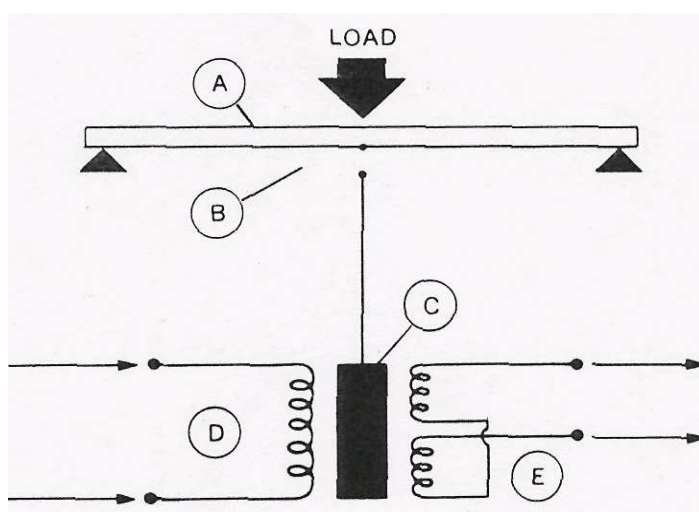
Οι κατασκευαστές μπορούν να ρυθμίζουν την έξοδο για :

- 1) Να την μεταβάλλουν
- 2) Την βαθμονόμηση της κλίμακας
- 3) Ελέγχουν τις θερμοκρασιακές επιδράσεις στο σημείο μηδέν
- 4) Ελέγχουν την επίδραση της θερμοκρασίας στην βαθμονόμηση της κλίμακας
- 5) Είσοδο / έξοδο της σύνθετης αντίστασης

Κυψελίδες Φόρτισης (Load Cell)

Οι κυψελίδες φόρτισης είναι ένας μετατροπέας όπου η έξοδός του είναι ανάλογη με την δύναμη που του ασκείται και χρησιμοποιούν μετρητές μηχανικής τάσης για να προσδιορίζουν την τιμή μιας άγνωστης δύναμης ή μάζας. Αυτός ο μετατροπέας διευκολύνει στην ακρίβεια της μέτρησης. Μερικές κυψελίδες φόρτισης είναι τύποι των strain gage.

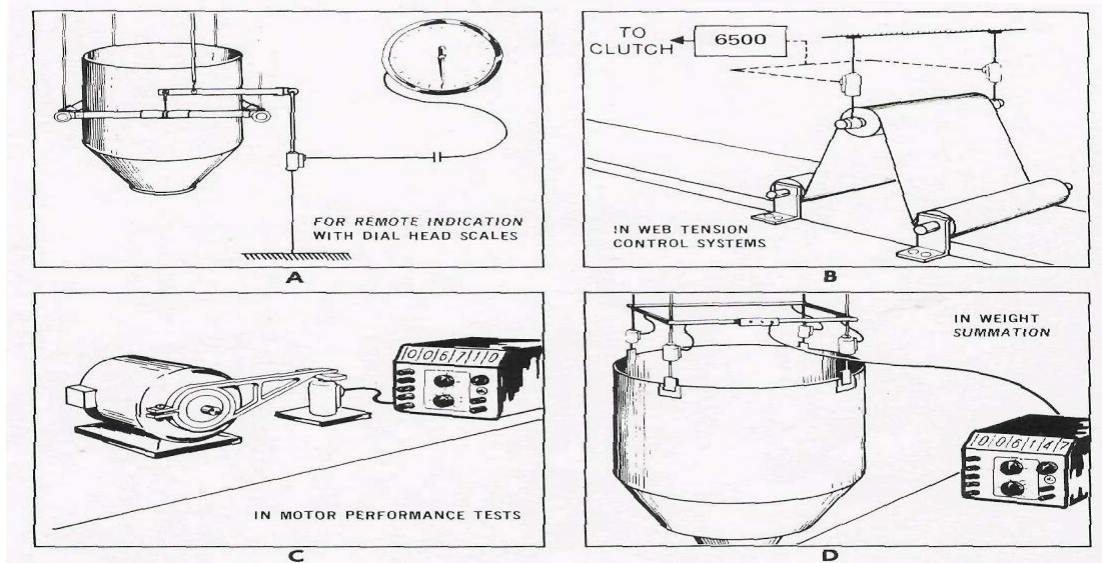
Υπάρχουν διάφοροι τύποι. Η βασική τους αρχή είναι όμοια σε όλους τους τύπους. Όταν ένα φορτίο τοποθετηθεί στο σημείο (A) δημιουργεί μια μετατόπιση



(B) την οποία αισθάνεται ο οπλισμός (C) του LVDT όπου αλλάζει την μαγνητική ροή στο κύριο πηνίο (D) και κατά συνέπεια την τάση στα δευτερεύοντα πηνία (E). Έτσι για κάθε μεταβολή της δύναμης-πίεσης στο (A), υπάρχει μια μετατόπιση της τάσης εξόδου (E) (εικόνα 20).

Εικόνα 20

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μερικές εφαρμογές των κυψελίδων φόρτισης:



Εικόνα 21

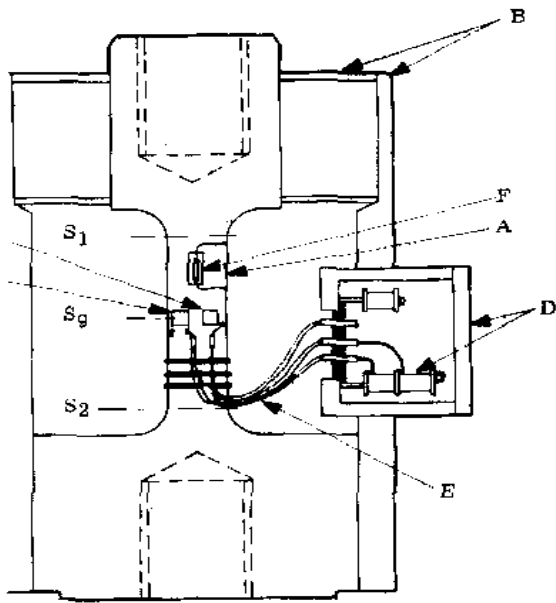
Στο σχήμα 21^A το load cell χρησιμοποιείται με μια δεξαμενή όπου μπορούμε να δούμε και να ελέγξουμε από απόσταση το πόσο γεμάτη είναι χρησιμοποιώντας μια βαθμονομημένη κλίμακα.

Στο σχήμα 21^B το load cell χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μια μονάδα μέτρησης βάρους η οποία είναι συνδεδεμένη με μια οθόνη και μια μονάδα ελέγχου.

Στο σχήμα 21^C το load cell χρησιμοποιείται με ένα κινητήρα και ένα αμορτισέρ.

Τέλος στο σχήμα 21^D το LVDT συνδυάζεται με ένα αμορτισέρ. Το τελευταίο χρησιμοποιείται για να αποσβένει συχνότητες οι οποίες θα προκαλούσαν δυσκολίες.

Το Strain gage load cell έχει το σχήμα στήλης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 22 έχει δύο οπλισμούς, ο καθ' ένας από αυτούς έχει μια γέφυρα τεσσάρων οπλισμών οι οποίοι είναι παράλληλα ευθυγραμμισμένοι.



Εικόνα 22

Ακόμα έχει άλλους δύο οπλισμούς οι οποίοι είναι ευθυγραμμισμένοι κατά 90 μοίρες.(C1,C2) για την μέτρηση του *poison strain*. Poison strain είναι ο λόγος της κατά μήκος παραμόρφωσης. Η γέφυρα των τεσσάρων οπλισμών είναι 2.6 φορές η έξοδος των απλών οπλισμών, που είναι ευθυγραμμισμένοι με τους κύριους άξονες.

Το ύψος της στήλης κυμαίνεται από 6 μέχρι 24 Ίντσες. Η στήλη γίνεται μακρύτερη στο τέντωμα και κοντύτερη στη συμπίεση, με αποτέλεσμα η ευαισθησία να είναι μεγαλύτερη στο τέντωμα απ' ότι στη συμπίεση.

Οι κυψελίδες φόρτισης πρέπει να τηρούν κάποια κριτήρια, αυτά είναι :

- 1) Να είναι όσο το δυνατόν συμπαγή ώστε να εφαρμόζεται πλήρως εκεί που θέλουμε να μετρήσουμε
- 2) Να μπορεί να αντέχει σε άλλες δυνάμεις (μεγαλύτερες ή μικρότερες) ώστε να τις ανιχνεύει και να τις μετρά.
- 3) Να έχει υψηλή έξοδο η οποία είναι επιθυμητή σε κάθε μετατροπέα
- 4) Να έχει σταθερότητα σε άλλες πιέσεις, όπως θερμοκρασιακή και βαρομετρική πίεση.
- 5) οι έξοδοί του να είναι συμμετρικοί
- 6) να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.

Σφάλμα στο Gage Load-Cell

Τα σφάλματα στις κυψελίδες φόρτισης συνήθως ελέγχονται και είναι γνωστά. Οι κατασκευαστές εκτελούν δοκιμές για να καθορίσουν ακριβώς τι λάθος μπορεί να είναι. Τρεις από τις δοκιμές αυτές είναι

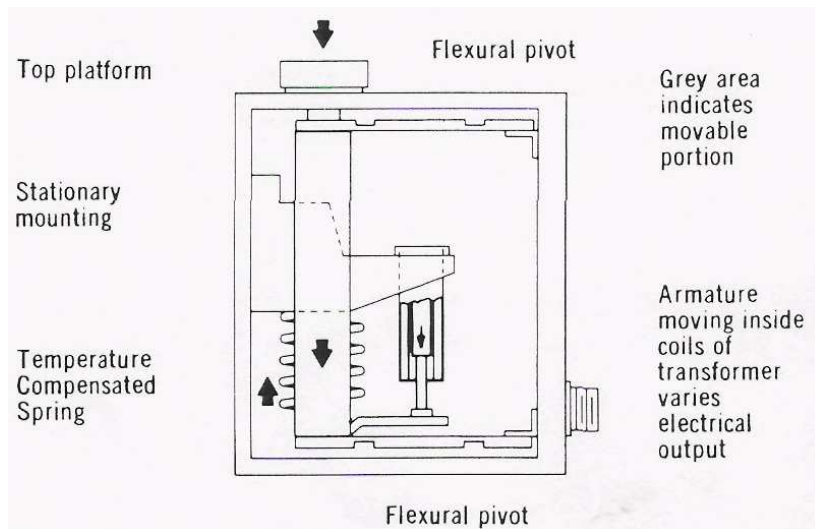
α) το φορτίο να παρουσιάζει κάποια κλίση και να μην εφάπτεται ακριβώς με τις κυψελίδες (load cell). Σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα είναι μικρότερο από 0,03 %.

β) στη δεύτερη δοκιμή το φορτίο εφάπτεται ακριβώς με το load cell αλλά δεν είναι τοποθετημένο στη μέση του. Σε αυτήν την περίπτωση το σφάλμα είναι μικρότερο από 0,1%

γ) μια ακόμα δοκιμή είναι να βρεθεί το σφάλμα στη έκθεση της θερμοκρασίας. Έπειτα από πολλές δοκιμές το σφάλμα δε ξεπερνά το 0,1%

Κυψελίδες Μέτρησης Βάρους

Το Cell βάρους είναι ένας μετατροπέας που χρησιμοποιείται σε συστήματα γέμισης με τη βοήθεια του βάρους. Στο σύστημα αυτό (Εικόνα 23) μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί μετατροπείς, ο πιο συνηθισμένος είναι ο LVDT(Linear Variable Differential Transducer). Ο τρόπος λειτουργίας του έχει ως εξής: όταν τοποθετηθεί κάποιο βάρος στην κορυφή της πλατφόρμας, αυτή κινείται προς τα κάτω εξαιτίας του αεροστεγούς σφραγίσματος, ενώ όταν το βάρος αφαιρεθεί η πλατφόρμα επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση μέσω ενός ελατηρίου. Το LVDT είναι σταθεροποιημένο έτσι ώστε ο οπλισμός να κινείται ελεύθερα πάνω ή κάτω μέσα από τα πηνία του και να έχουμε στην έξοδό του ένα ηλεκτρικό σήμα ανάλογα με την κίνηση του οπλισμού που είναι ανάλογη με το βάρος που τοποθετείται στην πλατφόρμα.



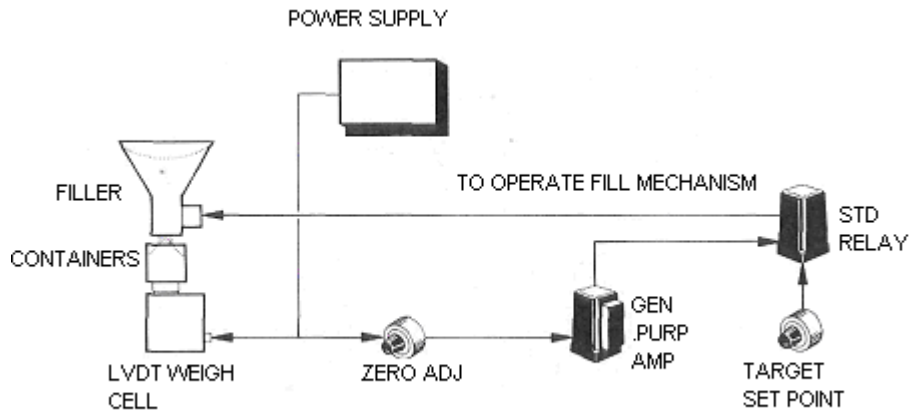
Εικόνα 23

Ένα τυπικό weigh cell φαίνεται στην εικόνα 24



Εικόνα 24 LVDT Load Cell (Courtesy, Automatic Timing and Controls Co.)

Μια εφαρμογή του weigh load cell φαίνεται παρακάτω. Στην εικόνα 25 απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα ενός απλού συστήματος το οποίο έχει καλύτερα αποτελέσματα όταν τα δοχεία ζυγίζουν το ίδιο και το δοχείο που γεμίζει τα κοντεϊνερς παρέχει την επιθυμητή ακρίβεια. Όταν το άδειο κοντέινερ τοποθετηθεί στο weigh cell, τότε ο διακόπτης μέσω του ρελέ ξεκινά το γέμισμα του μέχρι να φθάσει την πρωτοποθετημένη ποσότητα. Το ποσοστό γέμισματος μπορεί να ρυθμιστεί από το ZERO ADJ.



Εικόνα 25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ 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 θερμοκρασιακές κλίμακες. Η θερμοδυναμική κλίμακα Κέλβιν χρησιμοποιεί το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς. Η κλίμακα Κελσίου χρησιμοποιεί ως πρώτο σημείο αναφοράς το σημείο πήξης του νερού(0 °C) και ως δεύτερο σημείο αναφοράς το σημείο βρασμού του νερού(100 °C).

Η θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των αισθητηρίων και των τρόπων μέτρησης είναι πολύ μεγάλος. Από τα απλά υδραργυρικά θερμομέτρα μέχρι τη θερμογραφία είναι ένας μακρύς δρόμος. Για τη μέτρηση εκμεταλλευόμαστε το φαινόμενο της αλλαγής των χαρακτηριστικών της ύλης με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Το γεγονός ότι τα υλικά με την αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλώνουν σε μήκος (διαστολή), το μεταχειριζόμαστε συνήθως για τη μέτρηση της. Οι ονομασίες τους, για παράδειγμα, είναι: διμεταλλικά ελάσματα, ταινίες που το μήκος τους μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία και αισθητήρες ημιαγωγών.

Οι γνωστότεροι παθητικοί αισθητήρες είναι τα θερμίστορς. Αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το θερμικό τους συντελεστή: Σε αρνητικού θερμικού συντελεστή (NTC) και σε θετικού θερμικού συντελεστή (PTC). Τα θερμίστορ με αρνητικό θερμικό συντελεστή άγουν καλύτερα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ σε αυτά που έχουν θετικό συντελεστή συμβαίνει το αντίθετο. Τα θερμίστορ με αρνητικό

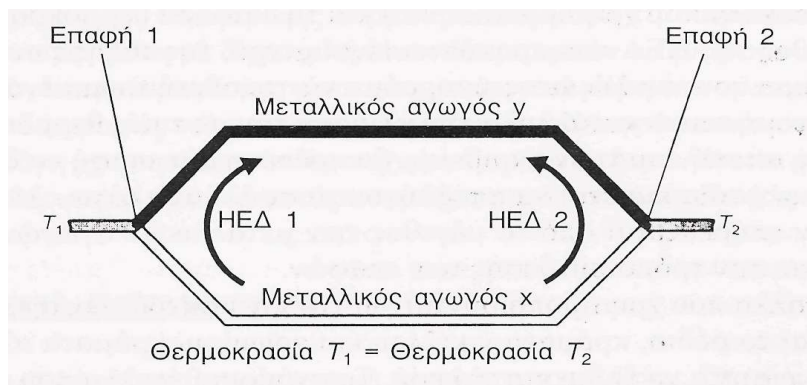
συντελεστή θερμοκρασίας κατασκευάζονται από ημιαγωγό υλικό με προσμίξεις οξειδίων του σιδήρου. Τα θερμίστορ με θετικό συντελεστή κατασκευάζονται από ένα υλικό με βάση το τιτάνιο και κεραμικό υλικό. Η επίδραση των ιδιοτήτων του ημιαγωγού υλικού με τις σιδηροηλεκτρικές ιδιότητες του τιτανίου δίνουν τα χαρακτηριστικά σε αυτά τα θερμίστορ. Υπάρχουν ακόμα και θερμικοί αισθητήρες κατασκευασμένοι με πυρίτιο που έχουν το πλεονέκτημα του μικρού σφάλματος μέτρησης. Όλες οι προηγούμενες μέθοδοι μέτρησης θερμοκρασίας δεν είναι γραμμικές. Η γραμμικότητα πρέπει να επιτευχθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικών συσκευών ή με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Μια άλλη, λίγο πιο περίπλοκη μέθοδος μέτρησης της θερμοκρασίας γίνεται με τη μέτρηση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα σώματα (υπέρυθρη ακτινοβολία). Κάθε σώμα εκπέμπει μια ορισμένη ισχύ ακτινοβολίας η οποία είναι αόρατη αλλά μερικές φορές μπορούμε να την αισθανθούμε (θερμότητα). Αυτή την ακτινοβολία μπορούμε να την ανιχνεύσουμε με αισθητήρες υπερύθρων (Infra-red sensors ή IR sensors) ή για μεγαλύτερο φάσμα ακτινοβολίας με Θερμογραφήματα. Αυτές οι μέθοδοι μέτρησης της θερμοκρασίας γίνονται πάντα από απόσταση χωρίς να υπάρχει επαφή με το αντικείμενο. Οι υπέρυθροι αισθητήρες καλύπτουν συνήθως μια μικρή περιοχή ενώ με το Θερμογράφημα μπορούμε να καλύψουμε μεγαλύτερες περιοχές μέτρησης.

Άλλοι βασικοί τύποι είναι τα θερμοζεύγιοι, τα RTD (Resistance Temperature Detectors), και οι IC αισθητήρες. Τα θερμοζεύγιοι καλούνται και Seebeck από τον εφευρέτη τους Thomas J. Seebeck.

Η αρχή λειτουργίας του θερμοζεύγους αναφέρεται στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 26. Το μέταλλο X και το μέταλλο Y είναι διαφορετικά και οι επαφές 1 και 2 ευρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, T_1 , και T_2 . Λόγω του φαινομένου Seebeck δημιουργούνται

μικρές ΗΕΔ στις δύο επαφές. Το αλγεβρικό άθροισμα των δύο ΗΕΔ δεν είναι μηδέν, και έτσι δημιουργείται ένα



Εικόνα 26

ρεύμα στο κύκλωμα. Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο είναι τέτοιο, ώστε όταν δύο δεδομένα μέταλλα έχουν επαφές που ευρίσκονται σε δεδομένες διαφορετικές θερμοκρασίες, η αναπτυσσόμενη συνολική ΗΕΔ είναι πάντοτε η ίδια. Επομένως αυτή μπορεί να μετρηθεί και να βαθμονομηθεί σε μονάδες θερμοκρασίας. Εάν και οι δύο επαφές του θερμοζεύγους ευρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, τότε δεν θα δημιουργηθεί συνολική ΗΕΔ. Εάν η θερμοκρασία μίας επαφής αρχίσει να αλλάζει και της άλλης όχι, τότε θα δημιουργηθεί μία ΗΕΔ, η οποία θα μεγαλώνει όσο αυξάνει η διαφορά θερμοκρασίας.

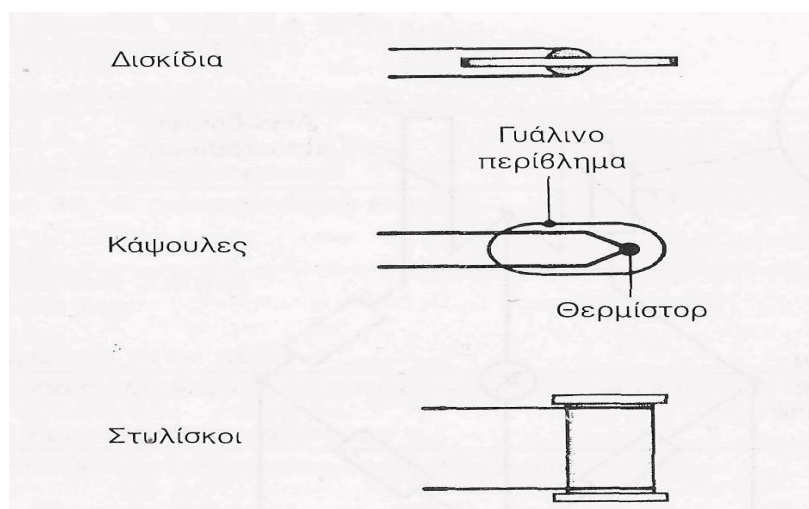
ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Τα θερμίστορ έχουν σαν αρχή την αλλαγή της αντίστασή με την θερμοκρασία

Τα θερμίστορ εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερες αλλαγές αντίστασης για δεδομένες μεταβολές θερμοκρασίας. Κατασκευάζονται από μίγματα μεταλλικών οξειδίων "σπανίων γαιών" (και περιέχουν συνήθως μαγγάνιο, νικέλιο, ουράνιο, χρώμιο και κοβάλτιο, όχι όμως πυρίτιο και γερμάνιο, που είναι τα γνωστότερα ημιαγωγικά υλικά), με καθαρή

σκόνη χαλκού. Η αντίσταση αυτών των υλικών είναι πολύ ευαίσθητη στις μεταβολές θερμοκρασίας.

Τα θερμίστορ διατίθενται σε πολλές μορφές, όπως δισκίδια, κάψουλες και στωλίσκοι, όπως εικονίζεται στην εικόνα 27



Εικόνα 27

Η αντίσταση των θερμίστορ κανονικά μειώνεται με τη θερμοκρασία. Η σχέση ανάμεσα στις δύο ποσότητες είναι εκθετική, σε αντίθεση με τη γραμμική σχέση που υπάρχει στα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης. Η αντίσταση ενός θερμίστορ δίνεται από τη σχέση:

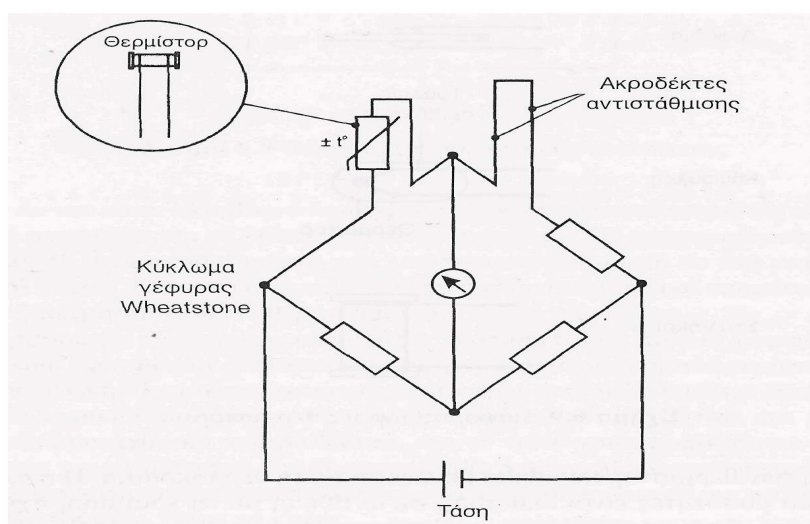
$$R_t = R_0 \exp \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

όπου

- R_t είναι η αντίσταση του θερμίστορ σε θερμοκρασία T βαθμών Κέλβιν (σε Ω)
- T είναι η απόλυτη θερμοκρασία (σε K)
- R_0 είναι η αντίσταση του θερμίστορ στη θερμοκρασία αναφοράς T_0 βαθμών Κέλβιν (σε Ω)
- β είναι η σταθερά του θερμίστορ σε K

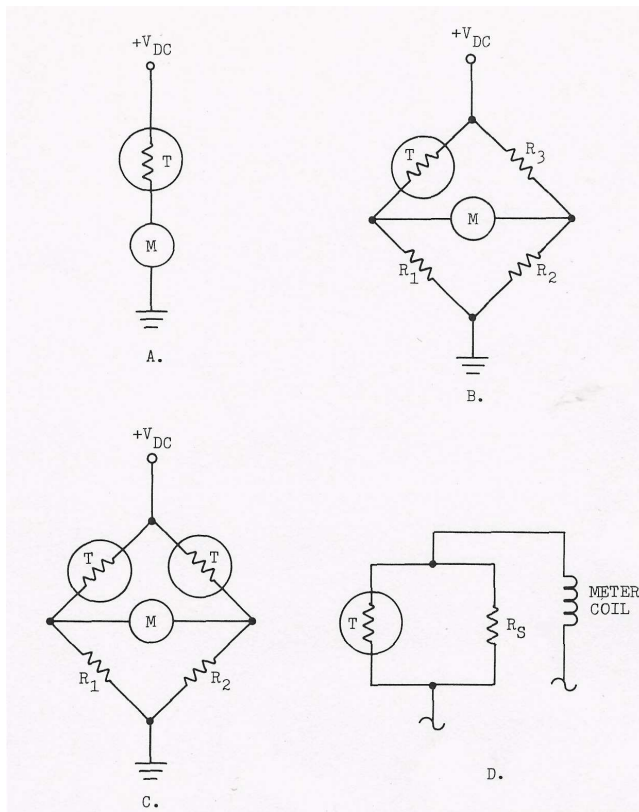
Η σταθερά β είναι διαφορετική για κάθε είδος θερμίστορ και εξαρτάται από το υλικό και τη διαδικασία κατασκευής του. Τυπικά το β έχει τιμές από 3000 K έως 5000 K, ενώ η αντίσταση R_0 είναι περίπου 2000 Ω .

Το θερμίστορ μπορεί να συνδεθεί σε ένα βραχίονα μίας γέφυρας Wheatstone (Εικόνα 28).



Εικόνα 28

Όπως θα δούμε στο παρακάτω σχήμα το αισθητήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τέσσερις τρόπους. Στο σχήμα 29^A χρησιμοποιείται σαν μια απλή συσκευή μέτρησης θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας τοποθετείται σε σειρά με το όργανο μέτρησης, έτσι το όργανο είναι ευαίσθητο στη ροή του ρεύματος με αποτέλεσμα μια μικρή αλλαγή στο ρεύμα να προξενεί ισοδύναμη αλλαγή στους βαθμούς της θερμοκρασίας. Στο σχήμα 29^B το αισθητήριο τοποθετείται σε συνδεσμολογία γέφυρας ώστε να παρέχει πιο ακριβή μέτρηση. Το όργανο μέτρησης δείχνει ελάχιστη αλλαγή του ρεύματος η οποία απεικονίζεται σε βαθμούς θερμοκρασίας. Στο σχήμα 29^C έχουν τοποθετηθεί στη γέφυρα δύο θερμίστορ, και αυτό για να συγκρίνουν τις θερμοκρασίες. Η γέφυρα βρίσκεται σε ισορροπία όταν δεν διαρρέετε ρεύμα. Όταν όμως αλλάξει η θερμοκρασία τότε δεν θα υπάρξει ισορροπία και θα έχουμε ροή ρεύματος διαμέσου του βαθμονομημένου



οργάνου μέτρησης. Τέλος στο σχήμα 29^D το θερμίστορ τοποθετείται παράλληλα με την αντίσταση και σε σειρά με το πηνίο μέτρησης. Το πρώτο έχει αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή ενώ το σύρμα χαλκού έχει ίσο αλλά θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή έτσι ώστε οποιοδήποτε αλλαγή

Εικόνα 29

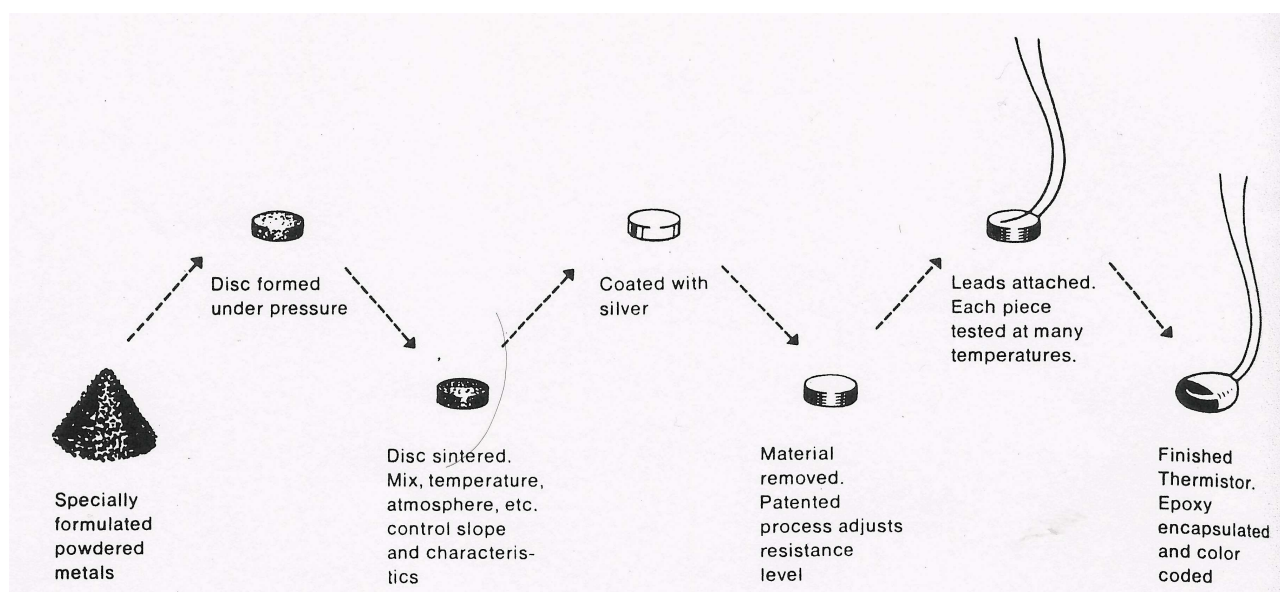
στη θερμοκρασία να επηρεάζει και τα δύο αλλά σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Το θερμίστορ θερμαίνεται επειδή διαρρέετε από ρεύμα, και έτσι προκαλείται ολίσθηση (drift), δηλαδή αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του. Το φαινόμενο αυτό λέγεται αυτοθέρμανση (self-heating) και αντισταθμίζεται με τη βοήθεια ενός δεύτερου θερμίστορ, το οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία.

Τα θερμίστορ μπορούν να έχουν πολύ μικρό μέγεθος και παρόλα αυτά να έχουν υψηλή αντίσταση, και εμφανίζουν ταχεία απόκριση στις μεταβολές θερμοκρασίας. Το θερμοκρασιακό εύρος των θερμίστορ εκτείνεται συνήθως μεταξύ 173 K και 573 (-100 °C και +300 °C) αλλά είναι εφικτές και μεγαλύτερες περιοχές λειτουργίας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση θερμοκρασιών σε μικρούς χώρους. Έχουν καλή επαναληψιμότητα και υψηλή διακριτική ικανότητα σε μικρές περιοχές θερμοκρασιών και έτσι χρησιμοποιούνται σε ιατρικές

εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν επάνω σε στερεά σώματα και να μετρούν την επιφανειακή τους θερμοκρασία.

Η διαδικασία της κατασκευής των αισθητήρων αποτελείται από έξι στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα οξείδια του μετάλλου συμπιέζονται σε μικρό δισκίο. Στο δεύτερο στάδιο το συμπιεσμένο με τα μέταλλα δισκίο επικαλύπτεται με ασήμι και εν συνεχεία ρυθμίζεται ο βαθμός και ο τύπος της αντίστασης. Στο τελικό στάδιο κάθε θερμίστορ περνά από έλεγχο σε διάφορες θερμοκρασίες. Τέλος το δισκίο τοποθετείται σε μια κάψουλα και χρωματίζεται σύμφωνα με τον κώδικα των αντιστάσεων. Η διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 30



Εικόνα 30

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα των θερμίστορ εντάσσονται η ευαισθησία τους στις θερμοκρασιακές μεταβολές, το μικρό τους μέγεθος (0,075 – 0,095

ίντσες), το μεγάλο εύρος εφαρμογών και επαναληπτικότητα στις μετρήσεις. Η μη γραμμικότητα είναι το πιο σημαντικό τους μειονέκτημα.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές των θερμίστορ, αυτό μας βοηθάει στην επιλογή του σωστού αισθητηρίου ανάλογα με το τι θερμοκρασίες θέλουμε να μετρήσουμε.

Στον πίνακα 31 απεικονίζονται οι προδιαγραφές των θερμίστορ :

Θερμίστορ
<i>Αντίσταση</i>
Σε 20 °C (περίπου): 2 kΩ Σε 25 °C (τυπικά): 1680 Ω ± 20% Σε 200 °C (περίπου): 37 Ω
<i>Ελάχιστη αντίσταση λειτουργίας</i>
37Ω
<i>Χαρακτηριστική θερμοκρασία</i>
25 °C έως 85 °C (τυπικά): 3050 K ± 5%
<i>Διαστάσεις</i>
Μήκος: 76.2 έως 3.2 mm Διάμετρος: 4 mm
<i>Αυτοθέρμανση στον αέρα</i>
Η θερμοκρασία του θερμίστορ αυξάνει κατά 1 °C για κάθε 1.3 mW καταναλισκόμενης ισχύος
<i>Μέγιστη θερμοκρασία κάψουλας</i>
200 °C (εφόσον δεν η μέγιστη ισχύς δεν υπερβαίνεται)
<i>Μέγιστη συνεχής κατανάλωση ισχύος στον ελεύθερο αέρα και θερμοκρασία 20 °C</i>
230 mW κατά μέσο όρο, σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 20 ms
<i>Σταθερά χρόνου ψύξης T στον ελεύθερο αέρα από την κατάσταση αυτοθέρμανσης</i>
20 s
<i>Μάζα (τυπική)</i>
1.8 g

Πίνακας 31

Το πρώτο κριτήριο είναι η επιλογή της αντίστασης του θερμίστορ ανάλογα με τη θερμοκρασία που θα μετρήσουμε. Ακολουθεί ο πίνακας όπου απεικονίζονται οι τιμές των αντιστάσεων στις αντίστοιχες θερμοκρασίες.

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°F)
100K – 500K	300 έως 600
2K – 75K	150 έως 300
2K – 5K	32 έως 212
100Ω – 1000Ω	-100 έως +150

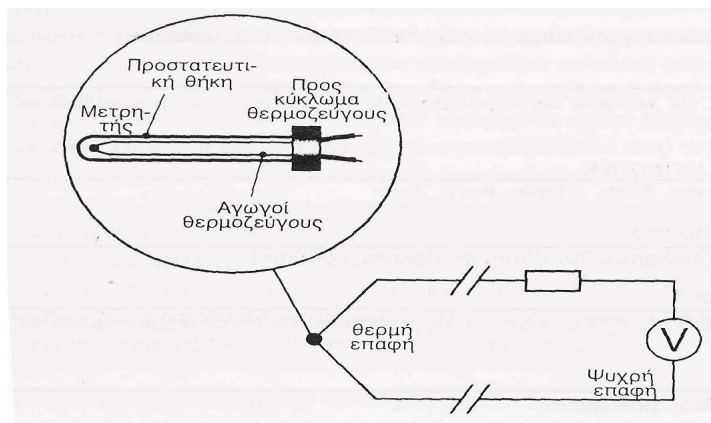
Κάτι ακόμα που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η ευαισθησία. Η επί τοις εκατό μεταβολή της αντίστασης ανά βαθμό Κελσίου ή Φαρενάιτ πέρα από την προκαθορισμένη περιοχή θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντική και θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή του θερμίστορ.

Επίσης η θερμοκρασία που αναπτύσσει η ίδια η αντίσταση πρέπει να αντισταθμιστεί και να υπολογιστεί.

Τέλος σαν κριτήριο για την επιλογή του θερμίστορ είναι η ανοχή της αντίστασης

Θερμοζεύγος (Thermocouple)

Ένα *Θερμοζεύγος* αποτελείται από δύο ανόμοια μέταλλα που συνδέονται μεταξύ τους σε δύο σημεία και σχηματίζουν ένα κλειστό κύκλωμα. Στο Σχήμα 32 εικονίζεται μία τυπική μορφή



Εικόνα 32

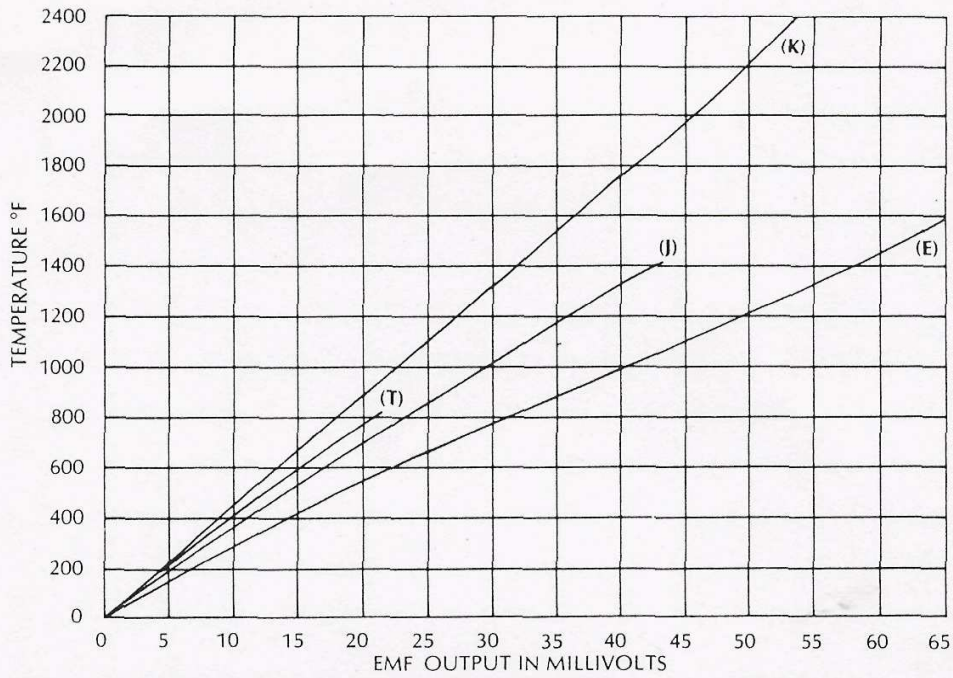
θερμοζεύγους. Η μία επαφή ευρίσκεται σε μία προστατευτική θήκη και αποτελεί το μετρητή, του οργάνου, γιατί έρχεται σε επαφή με το σώμα άγνωστης θερμοκρασίας.

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 τη διαφορά θερμοκρασίας των επαφών. Το μέγεθος της ΗΕΔ που προκύπτει είναι μικρό, της τάξης των μερικών mV. Στο ψυχρό άκρο του κυκλώματος μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα βολτόμετρο, και να βαθμονομήσουμε κατάλληλα την κλίμακα του σε τιμές θερμοκρασίας.

Για τη λήψη αποτελεσμάτων ακριβείας, θα πρέπει η μία επαφή να διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία και έτσι να αποφεύγονται σφάλματα λόγω ολίσθησης. Η τελική ΗΕΔ δεν επηρεάζεται από το μέγεθος των μεταλλικών αγωγών, το εμβαδόν των επαφών και τον τρόπο σύνδεσης των επαφών.

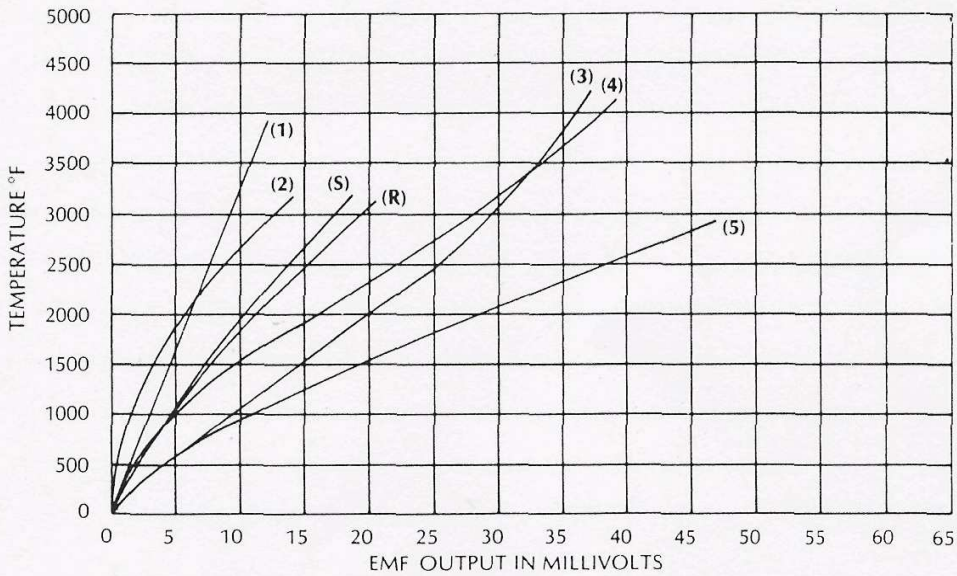
Τυπικά μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αγωγών των θερμοζευγών είναι το ρόδιο, κράματα νικελίου και χρωμίου, κράματα αλουμινίου και νικελίου και κράματα νικελίου και χαλκού. Τα ανάμοια μέταλλα που συνδυάζονται με αυτά περιλαμβάνουν το λευκόχρυσο, το

χαλκό και το σίδηρο. Η προστατευτική επικάλυψη που τίθεται στο μετρητή μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, για να παρέχει αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Στην εικόνα 33 που ακολουθεί απεικονίζονται η μεταβολές της τάσης εξόδου ανάλογα με την θερμοκρασία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Όπως φαίνεται από την καμπύλη, για θετικό σύρμα σιδήρου με αρνητικό σύρμα κοστάντιου το θερμοζεύγος χρησιμοποιείται για θερμοκρασίες της τάξεως 1600 °F. Με θετικό χαλκό και αρνητικό κοστάντιο το θερμοζεύγος χρησιμοποιείται για θερμοκρασίες μέχρι 750 °F. Ακόμα, με θετικό χρώμιο και αρνητικό αλουμίνιο το αισθητήριο προτείνεται για μετρήσεις της τάξης των 2300 °F. Με χρώμιο και κοστάντιο για θερμοκρασίες μέχρι 1600 °F. Για πλατίνα και ρόδιο οι θερμοκρασίες που προτείνονται από τους κατασκευαστές είναι στους 2800 °F. Τέλος με βολφράμιο και ρένιο, η προτεινόμενη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη και είναι ίση με 4000 °F.



LOW TEMPERATURE THERMOCOUPLE MATERIALS

Type	Typical Thermocouple Material (Positive material in Caps)	Wire Color Code
K	CHROMEL-Alumel	(YELLOW - Red)
T	COPPER-Constantan	(BLUE - Red)
J	IRON-Constantan	(WHITE - Red)
E	CHROMEL-Constantan	(PURPLE - Red)



HIGH TEMPERATURE THERMOCOUPLE MATERIALS

Type	Typical Thermocouple Material (Positive material in caps)	Wire Color Code
1	60% IRIDIUM 40% RHODIUM/Iridium	
2	PLATINUM 30% RHODIUM/Platinum 6% Rhodium	
3	TUNGSTEN 5% RHENIUM/Tungsten 26% Rhenium	
4	TUNGSTEN/Tungsten 26% Rhenium	
5	PT 5% MOLYBDENUM/Platinum 0.1% Molybdenum	
R	PLATINUM 13% RHODIUM/Platinum	(BLACK - Red)
S	PLATINUM 10% RHODIUM/Platinum	(BLACK - Red)

Εικόνα 33

Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως για μετρήσεις θερμοκρασίας σε βιομηχανικό επίπεδο, για παράδειγμα σε φούρνους, κλιβάνους, σε υγρά μέταλλα, ακόμη και σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές, όπως είναι η καταγραφή της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια εγχειρήσεων. Ένας λόγος που τα καθιστά δημοφιλή είναι ότι μπορούν να μετρούν τις διαστάσεις πολύ μικρών αντικειμένων, όπως είναι τα ημιαγωγικά μέρη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι προδιαγραφές ενός τυπικού θερμοζεύγους αναγράφονται στο Σχήμα 34. Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται συχνά σε ομάδες, Αυτό γίνεται για να αυξάνει την ευαισθησία, και οι ομάδες αυτές ονομάζονται *θερμοστοιχεία* (thermopiles).

<i>Προδιαγραφές</i>
Μετρητής με διάμετρο 1 mm και μήκος 150 mm, με σταθερή ακίδα και περικάλυμμα από PVC Θερμοζεύγος με διάμετρο 2 mm, μετρητή μήκους 75 mm με ακίδα και χερούλι
<i>Κατασκευή με βάση τα Βρετανικά Πρότυπα</i>
Ανοξειδωτος χάλυβας, οπλισμένος (εκτός και εάν αναγράφεται διαφορετικά) Μία θερμή επαφή Γείωση με διάφορες μονώσεις (μη-γείωση παρέχεται κατόπιν συνεννοήσεως)
<i>Μετρητές</i>
Χειριζόμενοι με το χέρι, με χερούλι και ακροδέκτες ή στερεωμένοι και μονωμένοι με διάφορους τερματισμούς
<i>Διαθέσιμες διαμέτροι μετρητών</i>
0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 3mm, 4.5mm, 6mm, 8mm
<i>Διαθέσιμα μήκη επικάλυψης</i>
25mm, 75mm, 100mm, 150mm, 200, 250mm, 500mm, 1000mm
<i>Διαθέσιμοι τερματισμοί</i>
Ακροδέκτες PVC, Ακροδέκτες PTFE, χερούλι, σφραγισμένο σε PVC, σφραγισμένο σε PTFE
<i>Διαθέσιμες ακίδες</i>
Γυμνοί ακροδέκτες, τυπικοί, μονωμένοι

Εικόνα 34

RTD (Resistance Temperature Detectors)

Στα RTD η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Ο θετικός αυτός συντελεστής ονομάζεται Άλφα(α) και εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το RTD. Για παράδειγμα ο χαλκός έχει συντελεστή 0,0038, η πλατίνα 0,0039, το βολφραμιο 0,0045 και το νικέλιο 0,0067. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται η αποδοτικότητα και η γραμμικότητά του και γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο αισθητήρα . Το εύρος λειτουργίας του κυμαίνεται στις θερμοκρασίες από - 400 μέχρι +1700 °C. Το καλύτερο υλικό είναι η πλατίνα, η οποία χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε θερμοκρασίες από - 270 μέχρι +660 °C. Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται στις θερμοκρασίες και στις αντίστοιχες τιμές της αντίστασης του RTD.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (F)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ω)
0	93,01
32	100
100	114,68
200	135,97
300	156,90
400	177,47
500	197,70
600	217,56
700	237,06
800	256,21
900	274,99

Η καρδιά ενός τυπικού RTD είναι ένα αισθητήριο στοιχείο κατασκευασμένο από μία συρμάτινη πλατίνα περιτριγυρισμένη από ένα κεραμικό πηνίο. Το στοιχείο αυτό είναι προσεχτικά τοποθετημένο και ακινητοποιημένο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής και καταπόνησης. Επίσης η βάση του είναι από ανοξείδωτο ατσάλι με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει καλή μεταφορά θερμοκρασίας και προστασία από την

υγρασία.

Εξαιτίας της μεγάλης ηλεκτρικής εξόδου, το RTD παρέχει ακρίβεια στην είσοδο σε καταγραφικά, ελεγκτές, σαρωτές και υπολογιστές. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του είναι το μέγεθός του, αφού δεν ξεπερνάει το μέγεθος της μύτης ενός μολυβιού.

Για την επιλογή RTD πλατίνας, θα πρέπει να λάβουμε κάποια χαρακτηριστικά υπ' όψιν.





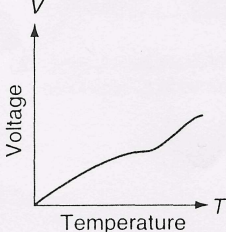
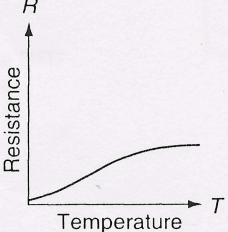
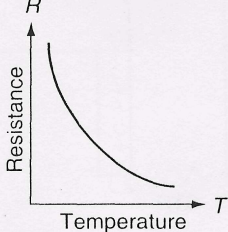
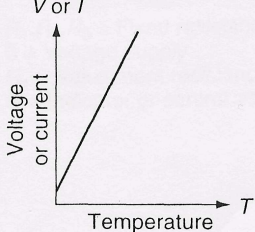
Η ονομαστική αντίσταση είναι 100Ω στους 0°C . Αν όμως πρόκειται για ειδικές εφαρμογές, τότε η επιλογή της ονομαστικής τιμής της αντίστασης πρέπει να είναι από 200Ω έως 500Ω . Ο θερμοκρασιακός συντελεστής άλφα αλλάζει κατά $0,00392\Omega / ^{\circ}\text{C}$. Η εναλλαξιμότητα μεταξύ των μονάδων είναι $\pm 0,25$ στους 0°C . Όσο για την ευστάθεια, το αισθητήριο παρουσιάζει μια ολίσθηση μικρότερη του $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ για θερμοκρασίες 500°C . Ο χρόνος απόκρισης εξαρτάται από την διάμετρο της βάσης.

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (IC)

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιεί ένα μικρό κομμάτι από σιλικόνη για την μέτρηση της θερμοκρασίας. Η έξοδος τους μπορεί να είναι είτε τάση είτε ρεύμα. Επίσης η έξοδος είναι πολύ χαμηλή αλλά διακριτή . Αν και χρησιμοποιείται για θερμοκρασίες κάτω από 200°C παρ' όλα αυτά προσφέρει πολύ καλή γραμμική έξοδο .

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα σύμβολα και οι συμπεριφορά του κάθε αισθητήρα από τις γραφικές παραστάσεις

Τέλος στον πίνακα, φαίνονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για τον κάθε αισθητήρα θερμοκρασίας.

	Thermocouple	RTD	Thermistor	IC Sensor
				
				

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ	<ul style="list-style-type: none"> • ΑΥΤΟΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟ • ΑΠΛΟ • ΦΘΗΝΟ • ΜΕΓΑΛΗ ΠΟΙΚΙΛΙΑ • ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 	<ul style="list-style-type: none"> • ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ • ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΚΡΙΒΗ • ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ 	<ul style="list-style-type: none"> • ΥΨΗΛΗ ΕΞΟΛΟΓΗ • ΓΡΗΓΟΡΗ ΔΙΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ • ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ 	<ul style="list-style-type: none"> • ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ • ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΞΟΛΟΓΗ • ΦΘΗΝΟ
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	<ul style="list-style-type: none"> • ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟ • ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ • ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ • ΜΙΚΡΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ • ΜΙΚΡΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ 	<ul style="list-style-type: none"> • ΑΚΡΙΒΟ • ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ • ΜΙΚΡΟ ΔΡ • ΑΥΤΟΘΕΡΜΕ-ΝΑΙΤΕ 	<ul style="list-style-type: none"> • ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟ • ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ • ΕΥΘΡΑΥΣΤΟ • ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ • ΑΥΤΟΘΕΡΜΕ-ΝΑΙΤΕ 	<ul style="list-style-type: none"> • $T < 200^{\circ}\text{C}$ • ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΤΑΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ • ΑΡΓΟ • ΑΥΤΟΘΕΡΜΕ-ΝΑΙΤΕ

Εικόνα 35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

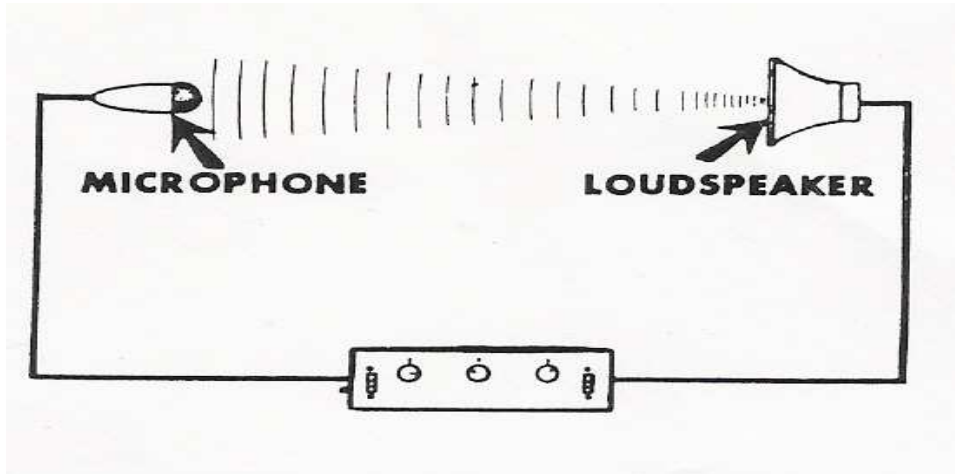
Τα υπερηχητικά κύματα είναι παλμικά κύματα ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων. Το εύρος τους είναι κάτω από την ακουστική συχνότητα ενός φυσιολογικού αυτιού.

Ένα απλό ηχητικό σήμα όταν ταξιδεύει από την πηγή προς τα έξω χάνει ισχύ όσο μεγαλώνει η απόσταση. Αυτή η μείωση ισχύος του ηχητικού κύματος μπορεί να επηρεαστεί από διακοπές κατά μήκος της διαδρομής του. Η ισχύς του κύματος σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής του είναι συνάρτηση της απόστασης από το σημείο εκπομπής του. Όταν κάποιο αντικείμενο βρεθεί στη διαδρομή του κύματος και είναι ικανό να απορροφήσει ή να ανακλάσει ενέργεια, τότε αυτή μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Η υγρασία, η θερμοκρασία και τα στάσιμα κύματα είναι μερικά από τα προβλήματα τα οποία επηρεάζουν ένα σύστημα ελέγχου. Πολύπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να παρακάμψουν ή να λύσουν τα παραπάνω προβλήματα.

ΔΙΠΛΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν διάφορα είδη συστήματα ελέγχου υπερηχητικών κυμάτων. Άλλα χρησιμοποιούνται στον αέρα και άλλα σε νερό ή άλλα υγρά. Το σύστημα αποτελείται από ένα ηχείο και ένα μικρόφωνο και λειτουργεί με το φαινόμενο του μικροφωνισμού, δηλαδή το ηχείο βρίσκεται πολύ κοντά με το μικρόφωνο με αποτέλεσμα να γίνεται ανάδραση του ήχου εικόνα 36 .



Εικόνα 36

Όταν ένα ασθενές ήχος βγαίνει από το ηχείο, εξαιτίας του αναπόφευκτου ηλεκτρικού θορύβου και των τυχαίων ήχων που βρίσκονται στον αέρα φθάνουν στο μικρόφωνο, αυτοί μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή ενισχύεται από ενισχυτές και βγαίνει από το ηχείο σε μορφή ηχητικού κύματος με σημαντική ένταση. Το κύμα αυτό φθάνει ξανά στο μικρόφωνο και ξανά ενισχύεται. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για κλάσματα του δευτερολέπτου. Ο τόνος αυτός καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή και του μικροφώνου και σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του αέρα μεταξύ αυτών των δύο. Αν ο πομπός και ο δέκτης τοποθετηθούν ο ένας απέναντι στον άλλο και το κέρδος του ενισχυτή είναι ίσο ή μεγαλύτερο από τις απώλειες του τότε θα έχουμε ακουστική ανάδραση η οποία δεν είναι δυνατό να ακουστεί από το ανθρώπινο αυτί. Το αντικείμενο που πρόκειται να ανιχνευτεί πρέπει να έχει κανονικό μέγεθος και να είναι τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλεί εξασθένηση.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΠΛΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

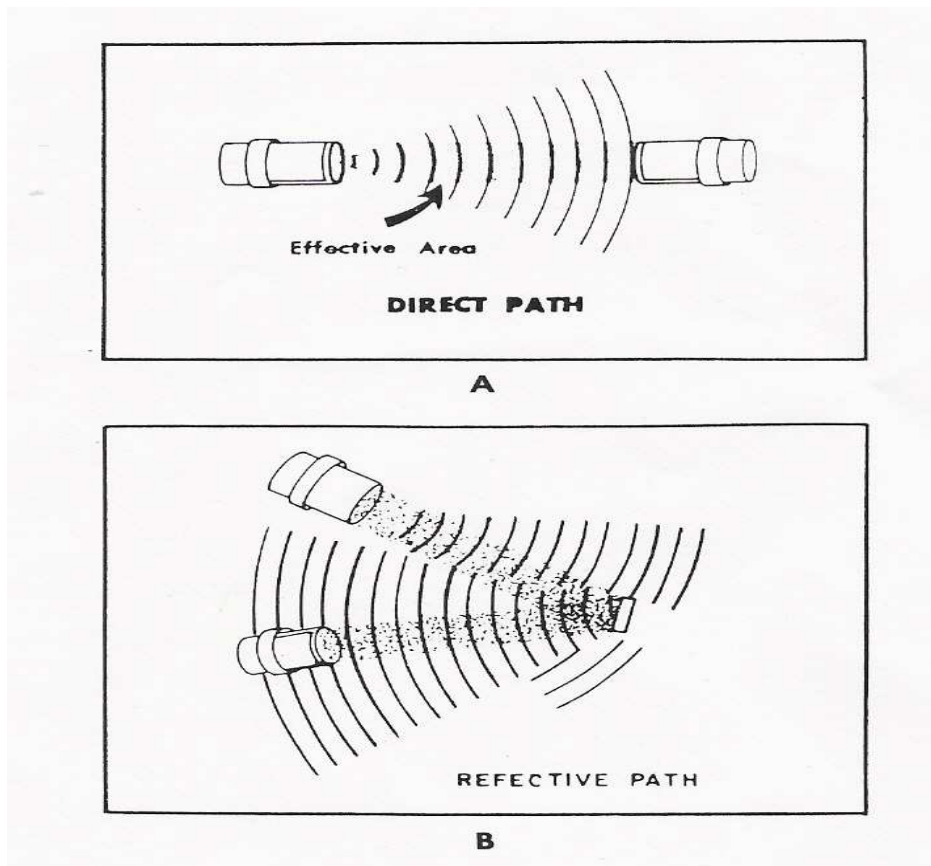
Υπάρχουν τέσσερις τρόποι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παρόν σύστημα.

Ο πρώτος τρόπος είναι αυτός που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα, δηλαδή ο πομπός και ο δέκτης να είναι απέναντι ο ένας στον άλλο. Έτσι όταν κάποιο αντικείμενο βρεθεί ανάμεσα αυτών των δύο θα διακόψει την ακουστική διαδρομή και τότε μπορεί να ενεργοποιηθεί κάποιο ρελέ στην έξοδο του συστήματος. Η ενεργός περιοχή που καλύπτει ο πομποδέκτης και μπορεί να κάνει ικανό το σύστημα να ανιχνεύσει κάποιο αντικείμενο είναι περίπου 50° γωνία.

Ο δεύτερος τρόπος έχει να κάνει με την ανίχνευση της απουσίας κάποιου αντικειμένου. Όταν υπάρχει κάποιο εμπόδιο στην ενεργό περιοχή το ρελέ στην έξοδο του συστήματος είναι κλειστό. Όταν το εμπόδιο μετακινηθεί εκτός της ενεργού περιοχής τότε το ρελέ ανοίγει.

Η τρίτη και η τέταρτη μέθοδος χρησιμοποίησης του συστήματος έχει να κάνει με την ανάκλαση του ηχητικού κύματος από το εμπόδιο. Ο ήχος εκπέμπεται από τον ένα αισθητήρα, αντανακλάται από το εμπόδιο και επιστρέφει στον δεύτερο αισθητήρα.

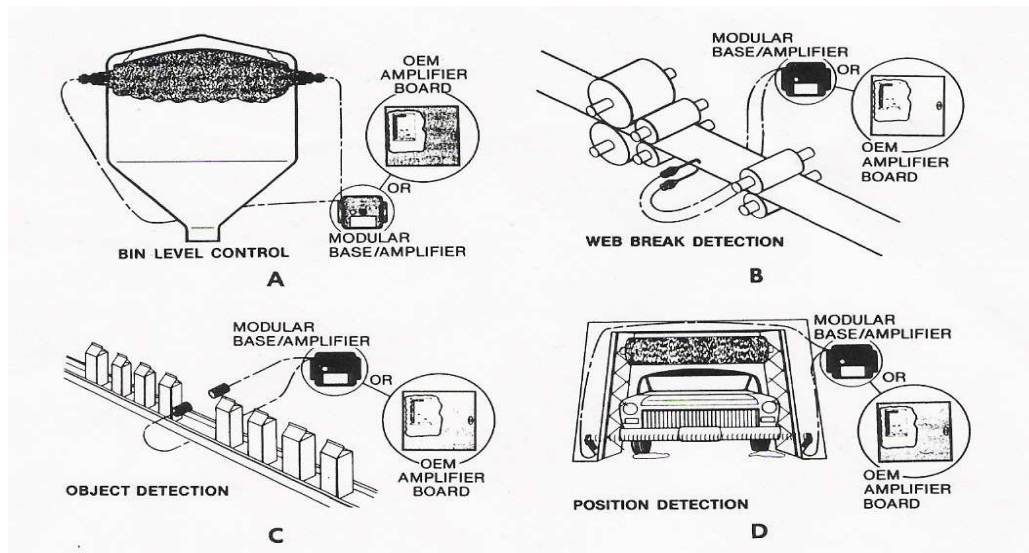
Στην εικόνα 37 φαίνονται η πρώτη και η τρίτη μέθοδος. Η άλλες μέθοδοι είναι ίδιες, το μόνο που αλλάζει είναι το πότε θα ενεργοποιείται ή θα απενεργοποιείται το ρελέ.



Εικόνα 37

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Στην εικόνα 38 απεικονίζονται μερικές εφαρμογές του διπλού αισθητήρα υπερήχων. Στην εικόνα 38^A το σύστημα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της στάθμης του δοχείου. Στις υπόλοιπες εικόνες ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της θέσης και την παρουσία/απουσία αντικειμένου. Σε κάθε εφαρμογή τοποθετούνται δύο αισθητήρες, ο ένας δρα σαν δέκτης και ο άλλος σαν πομπός. Ο τρόπος λειτουργίας είναι απλός. Ο πομπός στέλνει ένα υπέρηχο, ο δέκτης το λαμβάνει και το ενισχύει. Έτσι για παράδειγμα στην εικόνα 38^C στη γραμμή παραγωγής το σύστημα μετράει τον αριθμό των τεμαχίων.

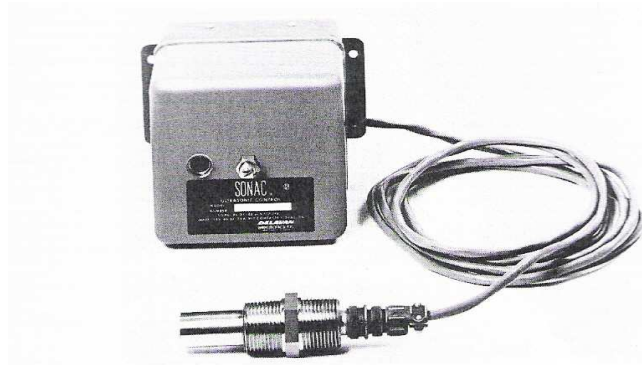


Εικόνα 38

Όταν ο δέκτης δεν λαμβάνει το σήμα του πομπού, σημαίνει ότι κάποιο τεμάχιο παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Έτσι μετά το σύστημα μπορεί να ακολουθεί ένας μετρητής και να καταμετρά τα τεμάχια.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΕΝΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

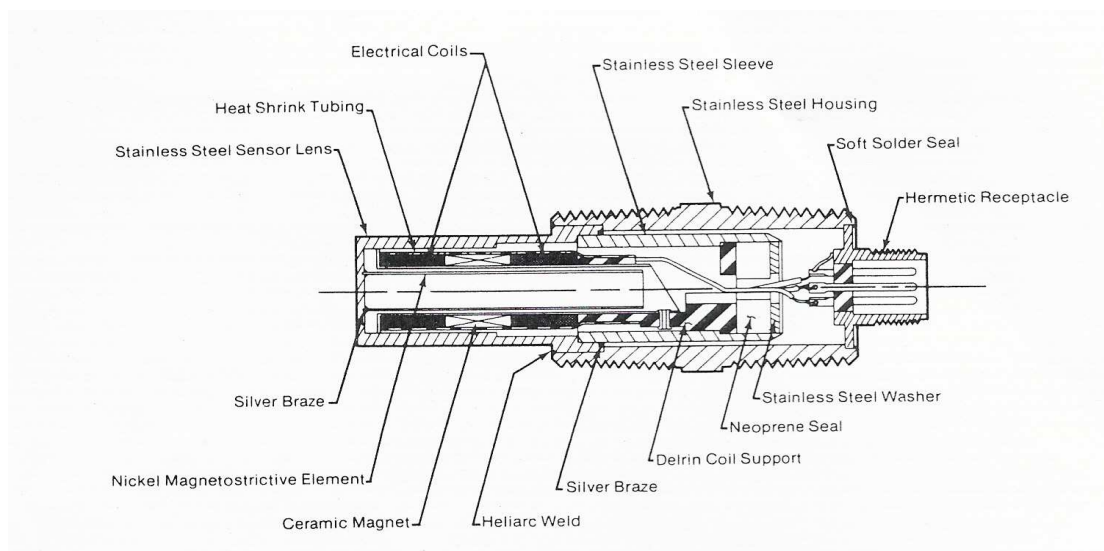
Αυτός ο τύπος αισθητήρα χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της στάθμης κάποιου υγρού. Ο αισθητήρας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο ατσάλι και είναι ερμητικά κλειστός. Επίσης έχει και ένα ενισχυτή (Εικόνα 39).



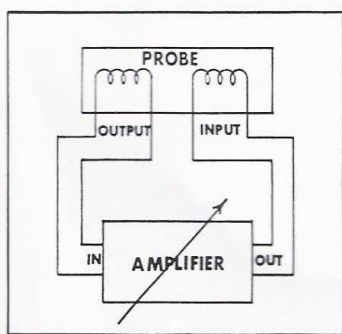
Εικόνα 39

Ο αισθητήρας ανιχνεύει τις αλλαγές του ακουστικού σήματος που εκπέμπεται, ο ενισχυτής το ενισχύει και στη συνέχεια ενεργοποιείται ένα ρελε. Οι αλλαγές του ακουστικού σήματος μπορεί να προέρχονται για παράδειγμα από το υγρό που γεμίζει μια δεξαμενή.

Η αρχή λειτουργίας αυτού του συστήματος είναι απλή. Ο αισθητήρας έχει ένα κινητό διάφραγμα το οποίο ταλαντεύεται. Όταν έρθει σε επαφή με το υγρό θα σταματήσει την ταλάντευση. Το διάφραγμα πάλλεται πιο πολύ στον αέρα και λιγότερο στο υγρό. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 40 ο αισθητήρας αποτελείται από το διάφραγμα(είσοδος), από ένα μηχανισμό που παράγει ήχους και το μέσο που ανιχνεύει την κίνηση του διαφράγματος(έξοδος). Όταν εφαρμοστεί τάση στο μηχανισμό που κινεί το διάφραγμα αυτό ταλαντεύεται. Η συχνότητα ταλάντωσης εξαρτάται από τον μηχανισμό που παράγει τους ήχους. Το πλάτος του σήματος στα πηνία ανίχνευσης κίνησης είναι ανάλογο με την κίνηση του διαφράγματος.



Εικόνα 40



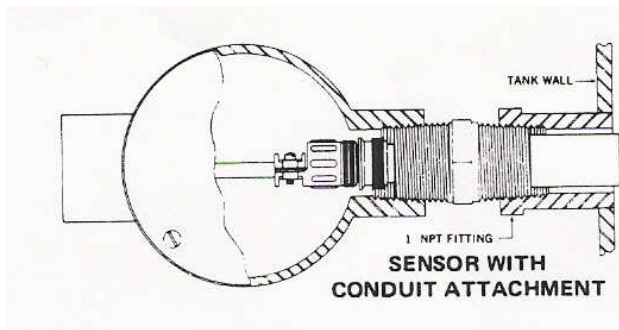
Εικόνα 41

Η έξοδος του αισθητήρα συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή και η έξοδος του ενισχυτή συνδέεται στην είσοδο του αισθητήρα (Εικόνα 41). Οποιαδήποτε ενέργεια εμφανίζεται στην έξοδο του αισθητήρα, θα ενισχύεται και θα επιστρέφει ξανά στην είσοδό του, θα έχουμε δηλαδή ανατροφοδότηση. Αν ο αισθητήρας εκτεθεί σε υλικό με πολύ καλή μηχανική αντίσταση στην κίνηση του διαφράγματος, η έξοδος του κυκλώματος θα την καταλάβει με αποτέλεσμα το σήμα ανάδρασης του ενισχυτή να μειωθεί και να σταματήσει να ταλαντεύεται. Το ρελέ ελέγχου του ενισχυτή ανταποκρίνεται σε καταστάσεις ταλάντωσης ή μη του κυκλώματος. Τέλος το κέντρο του διαφράγματος είναι το σημείο με την μεγαλύτερη ευαισθησία.

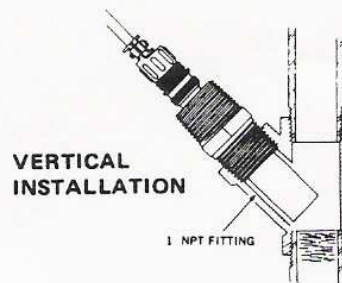
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΟΝΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Όπως και στον διπλό αισθητήρα έτσι και στον μονό, η εγκατάστασή του γίνεται είτε στην κορυφή είτε στον πάτο του δοχείου. Στην έξοδο του έχει ένα καλώδιο το οποίο είναι η τροφοδοσία του. Ο αισθητήρας μπορεί να τοποθετηθεί σε οριζόντια θέση αρκεί να σχηματίζει γωνία 30° και αυτό για να μην έρχεται η επιφάνεια του σε επαφή με ατμούς του αέρα και να δίνει λάθος ενδείξεις. Ακόμα μπορεί να εγκατασταθεί και σε κάθετη θέση. Επίσης κατά την εγκατάστασή του θα πρέπει να απέχει μια ίντσα από την επιφάνεια του υγρού. Στο σχήμα 42 φαίνονται οι δύο τρόποι εγκατάστασης του.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



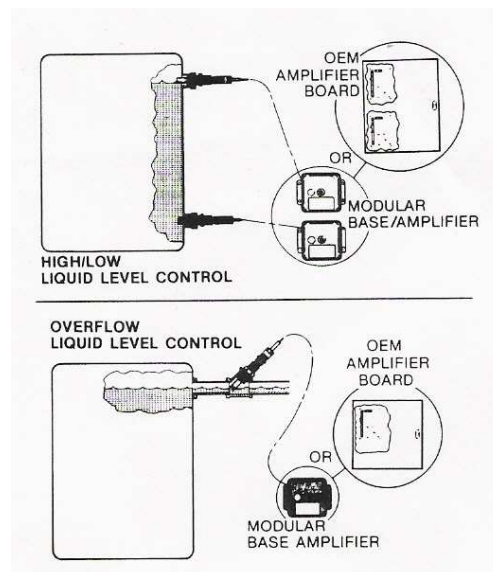
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ



Εικόνα 42

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Στην εικόνα 43 απεικονίζονται δύο από τις πολλές εφαρμογές του συστήματος. Στην πάνω εφαρμογή το σύστημα χρησιμοποιείται για να αισθάνεται το χαμηλό (LOW LEVEL) και το υψηλό επίπεδο (HIGH LEVEL) της στάθμης κάποιου υγρού με δύο ξεχωριστά συστήματα ελέγχου.



Εικόνα 43

Στην κάτω εφαρμογή το σύστημα έχει εγκατασταθεί έτσι ώστε να μας ειδοποιεί ή να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί κάποιο σύστημα ελέγχου, σε περίπτωση υπερχείλισης του υγρού από κάποια δεξαμενή.

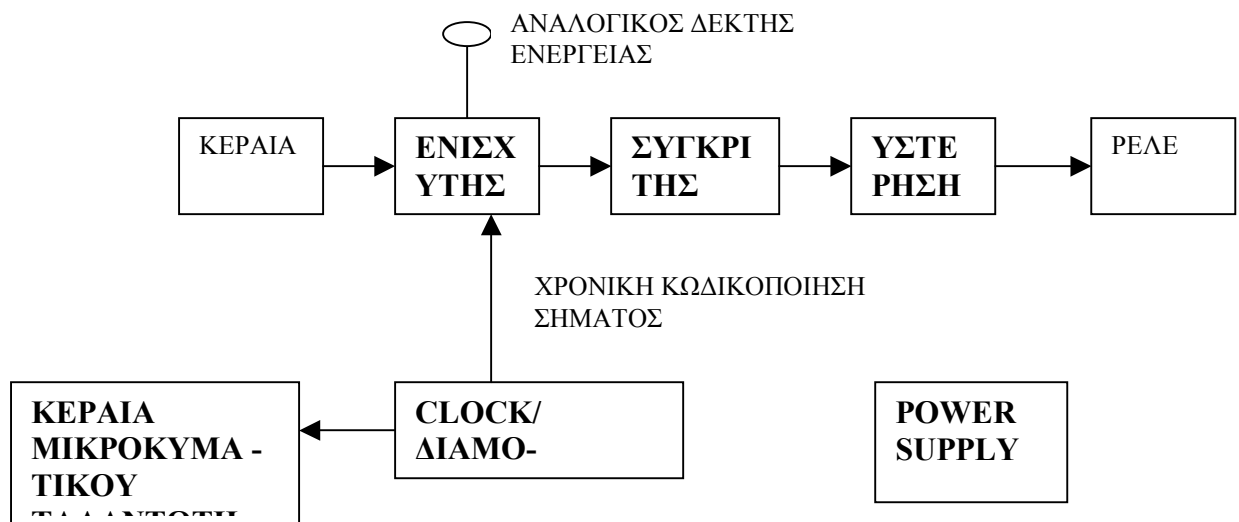
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Στις βιομηχανικές εφαρμογές ελέγχου η ανάπτυξη είναι ραγδαία, από τις χωρητικές (capacitive), επαγωγικές(inductive) και μαγνητικές(magnetive) συσκευές έχουμε μετάγει στον κόσμο των μικροκυμάτων.

Οι αισθητήρες μικροκυμάτων είναι συστήματα ελέγχου μη-επαφής που χρησιμοποιούν χαμηλό επίπεδο ενέργειας για να ανιχνεύουν το επίπεδο ή τη θέση κάποιου υγρού μιας μάζας ή στερεού αντικειμένου.

Σύμφωνα με διεθνείς κανονισμούς το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο ισχύος είναι $10\text{mW}/\text{cm}^2$. Συνήθως το επίπεδο αυτό σε μια κεραία δεν ξεπερνά τα $1,24\text{ mW}/\text{cm}^2$.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



BLOCK ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το block διάγραμμα που φαίνεται έχει την ικανότητα στα να δείχνει την παρουσία/ απουσία και/ ή την ποικιλία των υλικών σε μια γραμμή παραγωγής .

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όταν ένα αντικείμενο μπει μεταξύ του πομπού και του δέκτη, αυτό είτε θα απορροφήσει είτε θα ανακλάσει ενέργεια με αποτέλεσμα να προκληθεί σημαντική αλλαγή στο επίπεδο του σήματος που φθάνει στο δέκτη. Αυτή η αλλαγή ανιχνεύεται εύκολα και στη συνέχεια ενεργοποιείται κάποια άλλη λειτουργία στην έξοδο του συστήματος.

Όταν μικροκυματική ενέργεια πέσει στην επιφάνεια κάποιου υλικού τότε μέρος της ενέργειας θα ανακλαστεί και μέρος της θα εκπεμφθεί σε άλλο υλικό. Η ποσότητα της ενέργειας που ταξιδεύει προς κάθε κατεύθυνση είναι ανάλογη με την γωνία πρόσπτωσης, την πολικότητα, το μήκος κύματος και από τις ηλεκτρικές ιδιότητες κάθε υλικού.

Όσο αφορά τα υλικά ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες.

Η αγωγιμότητα του υλικού που είναι αντίστροφη της ηλεκτρικής αντίστασης του. Υψηλή αγωγιμότητα σημαίνει χαμηλή αντίσταση.

Η διηλεκτρική σταθερά του υλικού σημαίνει στο ποσό της ενέργειας που μπορεί το υλικό να αποθηκεύσει.

Η διαπερατότητα του υλικού είναι η μέτρηση στο πόσο εύκολα το υλικό μπορεί να μαγνητιστεί.

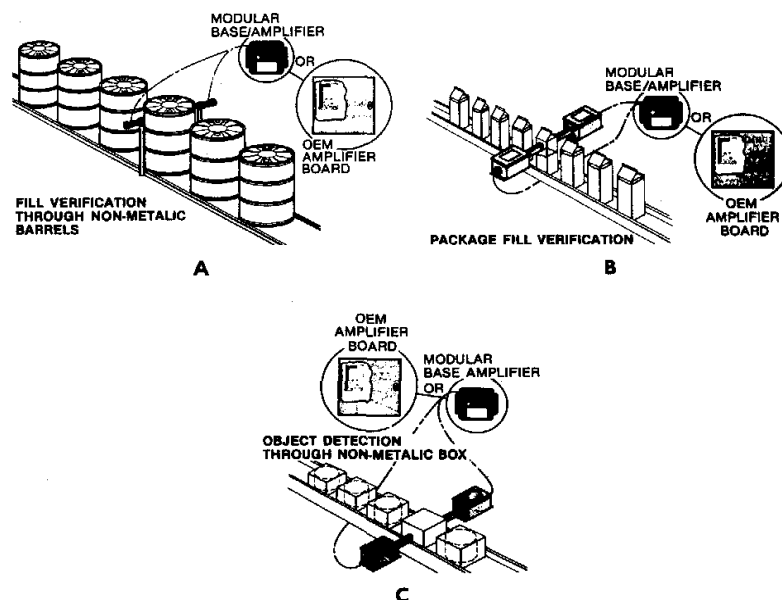
Ιδιαίτερη προσοχή για τον έλεγχο της στάθμης των υγρών ή των στερεών, θα πρέπει να δοθεί στο υλικό που είναι κατασκευασμένο το δοχείο ή η δεξαμενή. Αν είναι κατασκευασμένο από πλαστικό ή ξύλο δεν

χρειάζεται καμία τροποποίηση στην εγκατάσταση του συστήματος.
Αντιθέτως αν το δοχείο είναι κατασκευασμένο από μέταλλο, τότε πρέπει στο επιθυμητό ύψος να εγκατασταθούν παράθυρα.

Μια από τις ιδιότητες των μικροκυμάτων που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι δεν επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες και μπορεί να ανιχνεύσει με επιτυχία τη στάθμη εύφλεκτου υλικού ή τη θέση κάποιου αντικειμένου μέσα σε φούρνο χρησιμοποιώντας πυρίμαχο υλικό.

ΑΠΟΚΑΛΥΨΗ - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Από τότε που ανακαλύφθηκε ότι τα μικροκύματα μπορούν να διαπεράσουν πλαστικά, γυαλιά και ξύλο με σχετική ευκολία άρχισαν να χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν τη στάθμη, την ποσότητα ή την παρουσία διαφόρων αντικειμένων σε κλειστές συσκευασίες. Στην εικόνα 44 φαίνονται τρεις εφαρμογές



Εικόνα 44

Στην εικόνα 44^A ένας μικροκυματικός πομποδέκτης χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τη στάθμη του γάλατος σε μη μεταλλικά βαρέλια, ενώ στην εικόνα 44^B σε χάρτινες συσκευασίες. Τέλος στην εικόνα 44^C το σύστημα χρησιμοποιείται για να εξασφαλίζεται το γέμισμα των μη μεταλλικών συσκευασιών.

ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα πλεονεκτήματα που καθιστούν τον αισθητήρα τόσο διαδεδομένο είναι :

- Η τεχνική αυτή είναι μη επαφής. Αυτό σημαίνει ότι δεν έρχεται σε επαφή με άλλα υλικά, κατά συνέπεια έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Τα μικροκύματα δεν επηρεάζονται από ζέστη, σκόνη, θόρυβο, ομίχλη και καπνό.
- Η χαμηλή στάθμη μικροκυματικής ενέργειας κάνουν τη συσκευή ασφαλής προς τον άνθρωπο. Τα επίπεδα ισχύος δεν ξεπερνούν τα επίπεδα που έχουν οριστεί από τους οργανισμούς.

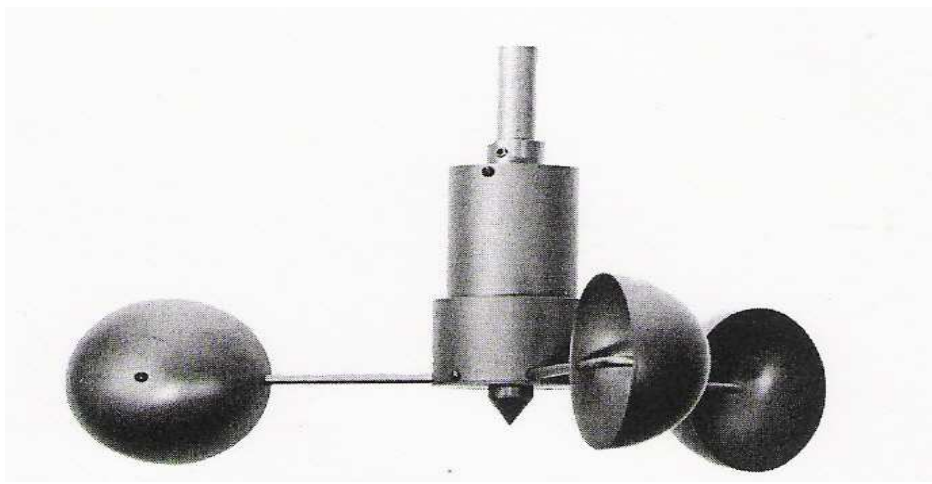
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια συνοπτική αναφορά σε μια πολύ διαδεδομένη χρήση των αισθητήρων. Αυτή είναι η ανίχνευση των καιρικών συνθηκών. Η ένταση και η κατεύθυνση του αέρα, η υγρασία, η βαρομετρική πίεση της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία του αέρα και η μέτρηση της στάθμης της βροχής είναι οι κατηγορίες των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για τις μετεωρολογικές προβλέψεις.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ο αισθητήρας που μετράει την ταχύτητα του αέρα αποτελείται από τρία ή έξη « κουτάλια ». Η διαφορά τους είναι ότι με τα έξη κουτάλια είναι πιο ευαίσθητος και χρησιμοποιείται για μικρές ταχύτητες του αέρα. Ένας αισθητήρας με τρία κουτάλια φαίνεται στην εικόνα 45.



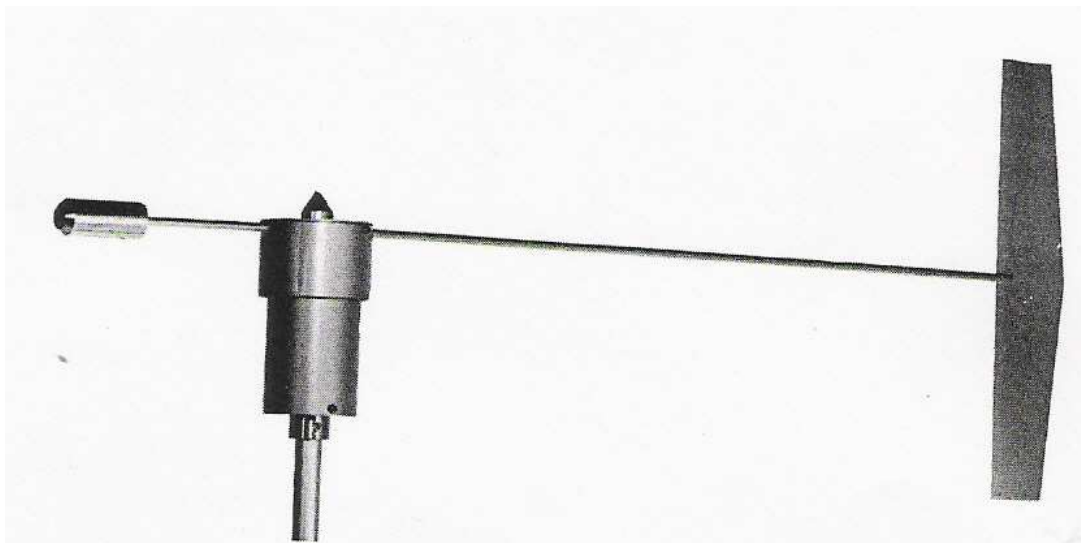
Εικόνα 45

Τα εξωτερικά εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από επιμεταλλωμένο χρυσό ώστε να επιβραδύνεται η οξείδωση και να είναι ελαφρύ. Ο άξονας που στηρίζονται τα κουτάλια είναι συνδεδεμένος μ' ένα

δίσκο έξη οπών όπου όταν περιστρέφεται να διακόπτει την υπέρυθρη ακτίνα που παράγεται από μια δίοδο LED. Το διακοπτόμενο σήμα ανιχνεύεται από ένα φωτοευαίσθητο τρανζίστορ που είναι τοποθετημένο από την αντίθετη πλευρά του δίσκου. Το σήμα εξόδου του αισθητήρα είναι μια παλμοσειρά που είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ανέμου. Το σήμα αυτό θα ενισχυθεί και από χαμηλού επιπέδου παλμού θα μετατραπεί σε dc σήμα το οποίο θα είναι και αυτό ανάλογο με την ταχύτητα του ανέμου. Αυτή η διαδικασία (ενίσχυση και μετατροπή), γίνεται μακριά από τον αισθητήρα. Ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος μ' ένα σύστημα ελέγχου ο οποίος αποτελείται από διακόπτες, δειγματολήπτες αέρα, συναγερμούς και φάρους οι οποίοι ενεργοποιούνται όταν η ένταση του αέρα υπερβεί ή πέσει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Ο αισθητήρας αυτού του τύπου μας δείχνει την κατεύθυνση του αέρα από 0 έως 360°. Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί ένα πλαστικό ποτενσιόμετρο το οποίο είναι μηχανικά συνδεδεμένο με τον ανεμοδείκτη.



Εικόνα 46

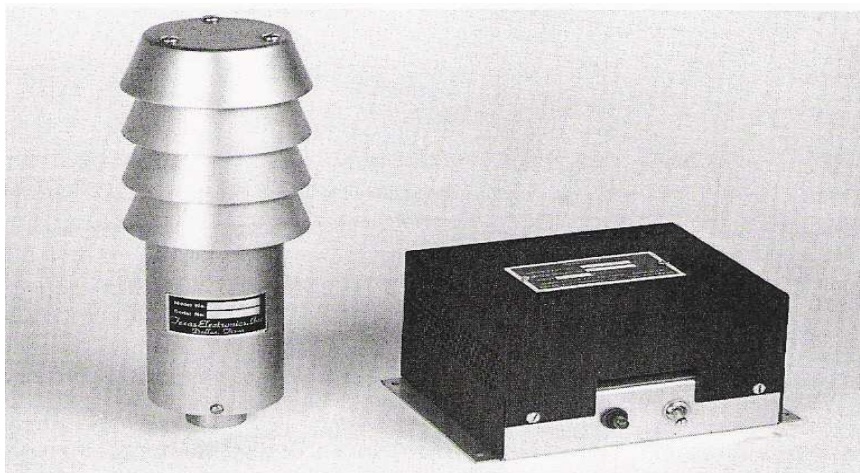
Ανάλογα με την κατεύθυνση του αέρα, κινείται και ο ανεμοδείκτης, με αποτέλεσμα να γυρίζει και η άκρη που είναι συνδεδεμένη με το ποτενσιόμετρο. Η αντίσταση του ποτενσιόμετρου μας δείχνει την γωνιακή θέση του ανεμοδείκτη. Η ράβδος του τελευταίου έχει μήκος $33 \frac{3}{4}$ 'ίντσες. Το μήκος αυτό έχει επιλεγεί για να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εξωτερικού μέρους του αισθητήρα είναι χρυσός με επιμεταλλωμένο αλουμίνιο.

Το dc σήμα στην έξοδο του αισθητήρα είναι ανάλογο με το αζιμούθιο εύρους από 0° έως 360° . Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται συνήθως μ' ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί κάποιο άλλο σύστημα ανάλογα με τις προκαθορισμένες τιμές που έχουμε ορίσει. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μ' ένα αισθητήρα ταχύτητας του ανέμου.

Αισθητήρας ανίχνευσης υγρασίας

Η κατασκευή του αισθητήρα υγρασίας περιέχει ένα υδροσκοπικό ανόργανο στοιχείο και ένα LVDT. Εξωτερικά έχει τέσσερα «καπελάκια» το ένα πάνω στο άλλο, τα οποία περικλείουν τον αισθητήρα. Η κατασκευή είναι τέτοια ώστε να περνάει ο αέρας αλλά όχι η βροχή. Το LVDT και τα άλλα στοιχεία είναι κλεισμένα μέσα σ' ένα σωλήνα από κάτω του οποίου βρίσκεται ένα στοιχείο ολίσθησης. Όλα τα μέρη του αισθητήρα είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και είναι επιστρωμένα με χρυσό. Η έξοδος του LVDT είναι ένα σήμα ανάλογο με την υγρασία. Η είσοδος είναι ένα σήμα συχνότητας 60Hz το οποίο ανορθώνεται και σταθεροποιείται έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της γραμμής. Η σταθεροποιημένη τάση τροφοδοτεί ένα ταλαντωτή του

οποίου η έξοδος τροφοδοτεί το LVDT. Το επιστρεφόμενο σήμα από το LVDT ανιχνεύεται, φιλτράρεται, σταθεροποιείται και στη συνέχεια παρουσιάζεται σε τερματικές συσκευές. Στην εικόνα 47 απεικονίζεται ένας τέτοιος αισθητήρας.



Εικόνα 47

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Ο αισθητήρας αποτελείται από ένα φουσητήριο που είναι συνδεδεμένο με τον πυρήνα του LVDT. Μεταξύ του πυρήνα και του μετασχηματιστή δεν υπάρχει φυσική επαφή, έτσι ελαχιστοποιείται η τριβή μεταξύ τους. Επίσης η απουσία της τριβής σε συνδυασμό με την σύνδεση κάποιων ποτενσιομετρικών συσκευών βελτιώνουν σημαντικά την ανάλυση. Στην εικόνα 48 φαίνεται ένας αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης. Όπως και στον αισθητήρα υγρασίας έτσι και στον αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης, η είσοδος είναι ένα σήμα συχνότητας 60Hz το οποίο ανορθώνεται και σταθεροποιείται έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της γραμμής.

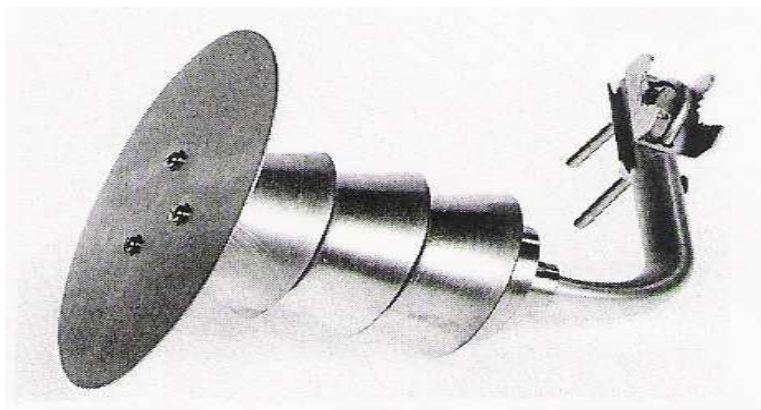


Εικόνα 48

Η σταθεροποιημένη dc τάση τροφοδοτεί ένα ταλαντωτή του οποίου η έξοδος με την σειρά τροφοδοτεί μια μονάδα εκπομπής του αισθητήρα. Το επιστρεφόμενο σήμα φιλτράρεται, σταθεροποιείται και στη συνέχεια παρουσιάζεται σε τερματικές συσκευές.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας του αέρα αποτελείται από ένα υψηλής ευαισθησίας θερμίστορ σε συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone . Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται ένας τέτοιος αισθητήρας.

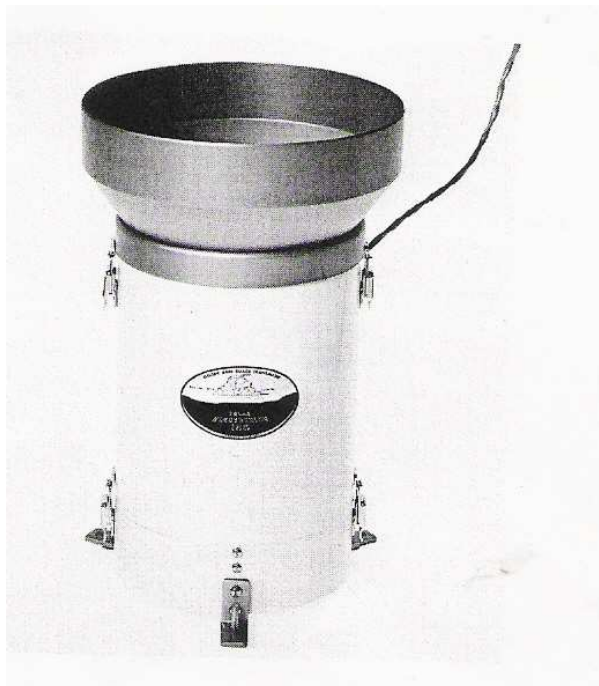


Εικόνα 49

Η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα δημιουργεί ανισορροπία στη γέφυρα των αντιστάσεων (wheatstone), με αποτέλεσμα το σήμα εξόδου να είναι ανάλογο με τη θερμοκρασία του αέρα. Κατασκευαστικά ο αισθητήρας έχει μια αντλία εισπνοής, η οποία επιτρέπει τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του περιβλήματος είναι επιστρωμένο αλουμίνιο. Το σήμα εξόδου μπορεί να συνδεθεί με καταγραφείς, συλλέκτες δεδομένων και συναγερμούς. Ακόμα μπορούν να συνδεθούν περισσότερα από δύο αισθητήρια. Τέλος ο αισθητήρας λειτουργεί με 115Vac στα 60 Hz .

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρες για την μέτρηση της βροχής. Ο πιο διαδεδομένος είναι αυτός που χρησιμοποιείται στις δυνατές βροχοπτώσεις και που θα ασχοληθούμε σε αυτήν την ενότητα. Ένας τέτοιος αισθητήρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Αυτός αποτελείται από ένα συλλέκτη και μια σήραγγα που οδηγεί το νερό της βροχής σ' ένα δοχείο. Η κατασκευή του είναι τέτοια ώστε μια μεταβολή ενός εκατοστού της ίντσας να είναι ορατή και μετρήσιμη. Ένα ερμητικά κλειστό γυαλί εσωκλείει ένα υδραργυρικό διακόπτη ο οποίος εφάπτεται με το δοχείο.

Εικόνα 50

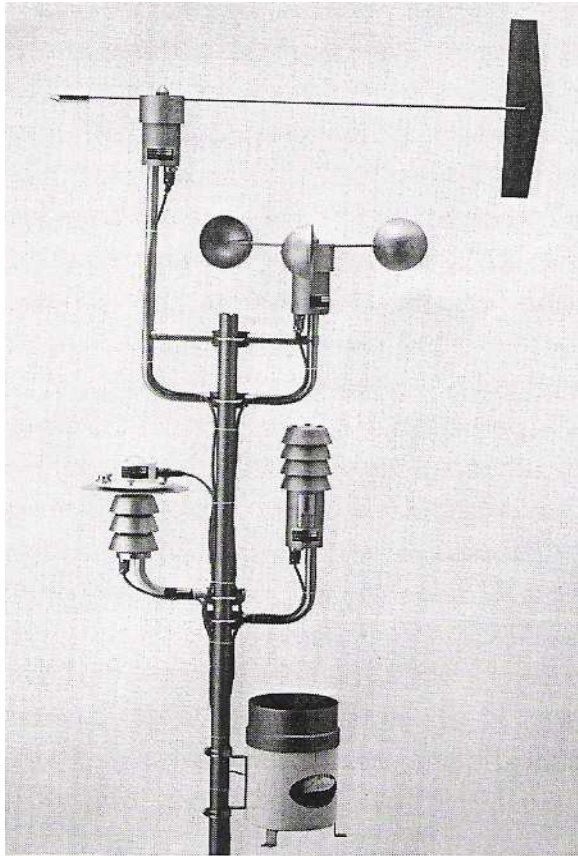
Έτσι κάθε φορά που πέφτει μια σταγόνα ή μια ορισμένη ποσότητα βρόχινου νερού, αλλάζει κατάσταση ο διακόπτης, με αποτέλεσμα να δίνει κάθε φορά ένα σήμα. Το σήμα αυτό μεταδίδεται μέσω ενός διπλού καλωδίου σ' ένα δέκτη. Ο δέκτης μπορεί να είναι ένας μετρητής, ένας συλλέκτης δεδομένων ή ένας καταγραφέας. Ο αισθητήρας τροφοδοτείται με 120Vac ή από μια μπαταρία των 12Vdc. Η μπαταρία είναι μια ιδανική λύση για λειτουργία από απόσταση ή σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Το υλικό κατασκευής είναι κυρίως το αλουμίνιο και ο χαλκός. Τα μέρη εκείνα που είναι από αλουμίνιο έχουν επιστρωθεί με χρυσό.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος για τη πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων είναι η στήλη. Σ' αυτήν μπορεί να τοποθετηθεί οποιοσδήποτε συνδυασμός αισθητήρων. Αυτοί είναι :

- 1. οριζόντια κατεύθυνση του ανέμου*
- 2. ταχύτητα του ανέμου*
- 3. βαρομετρική πίεση*
- 4. υγρασία*
- 5. θερμοκρασία του αέρα*
- 6. μετρητής στάθμης της βροχής*

Η στήλη συνήθως συνοδεύεται με το τροφοδοτικό και μια μονάδα για την συλλογή της πληροφορίας. Η στήλη τροφοδοτείται με 120 Vac, 60 Hz ή 12 Vdc. Το αναλογικό σήμα εξόδου από κάθε αισθητήρα μετασχηματίζεται σε μια dc τάση ανάλογα με την παράμετρο που μετρά. Μια στήλη με τους αισθητήρες τοποθετημένους πάνω σε αυτήν φαίνεται στην εικόνα 51.



Η στήλη αυτή έχει τοποθετημένους όλους τους αισθητήρες που αναφέρθηκαν παραπάνω εκτός αυτόν της βαρομετρικής πίεσης.

Εικόνα 51

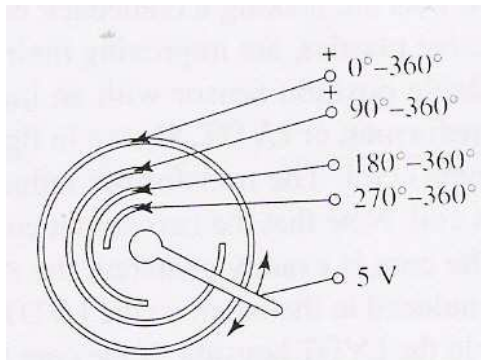
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΣΗΣ – ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θέσης και την παρουσία ή μη κάποιου αντικειμένου. Τέτοιοι αισθητήρες είναι οι διακόπτες, οι επαγωγικοί και οι οπτικοί μετατροπείς, τα ποτενσιόμετρα, τα LVDT, οι μαγνητικοί, οι χωρητικοί, οι ανίχνευση θέσης με ακτίνες φωτός, με rotary resolver, με synchros και με οπτικούς αποκωδικοποιητές.

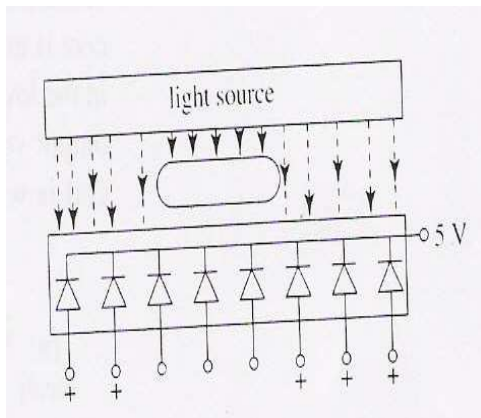
ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ (SWITCHES)

Ξεκινώντας από τους διακόπτες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αισθητήρες ανίχνευσης θέσης. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια παράταξη από διακόπτες. Το κόστος βέβαια είναι λίγο ακριβό αφού περιλαμβάνει τους διακόπτες, το κύκλωμα σύνδεσης και το κύκλωμα του controller. Υπάρχουν διάφοροι τύποι διακοπτών για την χρήση αυτή.



Στην εικόνα 52 αριστερά φαίνεται ένας περιστροφικός αισθητήρας θέσεως. Η θέση καθορίζεται από τον αριθμό των νησίδων που άγουν όταν εφάπτεται ο μοχλός.

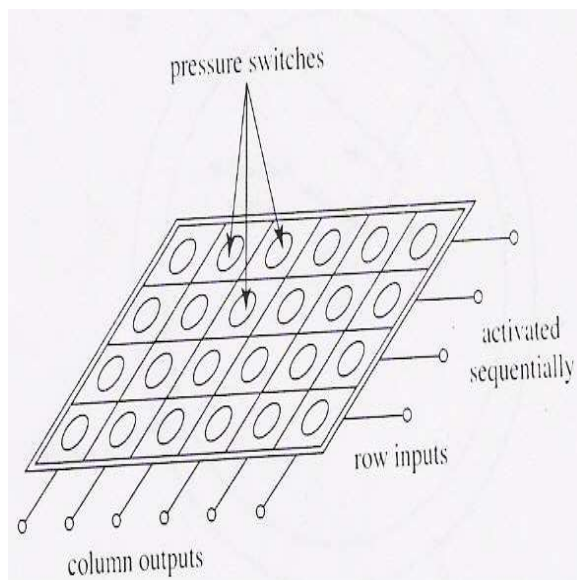
Εικόνα 52



Εικόνα 53

Ένας άλλος τύπος είναι αυτός με τις φωτοδιόδους (Εικόνα 53). Ο τρόπος λειτουργίας του είναι απλός. Από την μια πλευρά είναι τοποθετημένοι πηγές φωτός, ενώ από την άλλη φωτοδιόδοι.

Έτσι όταν περάσει κάποιο αντικείμενο ανάμεσα τους αυτό θα κόβει το φως που θα έπεφτε στις απέναντι διόδους με αποτέλεσμα αυτές να μην άγουν. Στη συνέχεια είναι εύκολο να βρεθεί η θέση. Αυτός ο τύπος αισθητήρα χρησιμοποιείται μόνο για μικρές αποστάσεις και μόνο σε ευθεία γραμμή.



Εικόνα 54

Όμως η πλειοψηφία των αισθητήρων θέσεων και μετατόπισης δεν είναι διακόπτες αλλά μετατροπείς (transducers), ή σειρά από μετατροπείς.

ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΙ

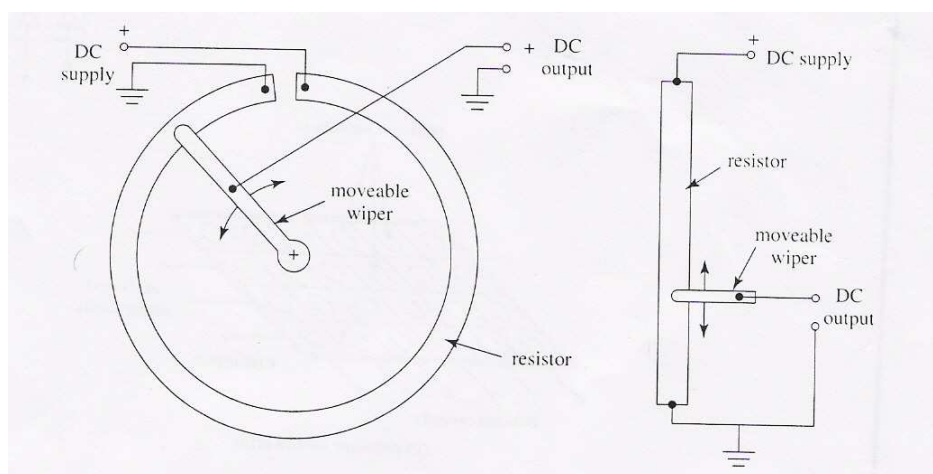
Είναι μετατροπείς μη επαφής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της θέσης κάποιου αντικειμένου. Στην έξοδο αντί να υπάρχει ένα κύκλωμα ελέγχου υπάρχουν διακόπτες, όταν χρησιμοποιείται σαν αισθητήρας θέσης πρέπει να περιέχει ένα κύκλωμα ελέγχου που στην έξοδό του θα έχει μια τιμή(τάση ή ρεύμα) ανάλογη με την απόσταση από τον μετατροπέα μέχρι τον στόχο. Από τότε που η έξοδος του μετατροπέα είναι εκθετικής μορφής, το κύκλωμα ελέγχου του αισθητήρα πρέπει να μετατρέψει την εκθετική σχέση σε γραμμική. Η απόσταση που μπορεί να μετρήσει ένας τυπικός επαγωγικός αισθητήρας

Τέλος ένας άλλος τύπος αισθητήρα θέσης με διακόπτη είναι αυτός που φαίνεται στην εικόνα 54. Αυτός αποτελείται από μετατροπείς πίεσης (pressure transducers) οι οποίοι ανάλογα με την ποσότητα της πίεσης σε κάθε αισθητήρα μπορούμε να βρούμε όχι μόνο την θέση αλλά και τον προσανατολισμό.

είναι περίπου 15mm, ενώ ένας οπτικός αισθητήρας θέσης μπορεί να μετρήσει μερικές ίντσες.

ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΑ

Τα ποτενσιόμετρα ή μεταβλητές αντιστάσεις (variable resistor), μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αισθητήρες θέσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν είτε περιστροφική θέση είτε την θέση σε ευθεία.



A

Εικόνα 55

B

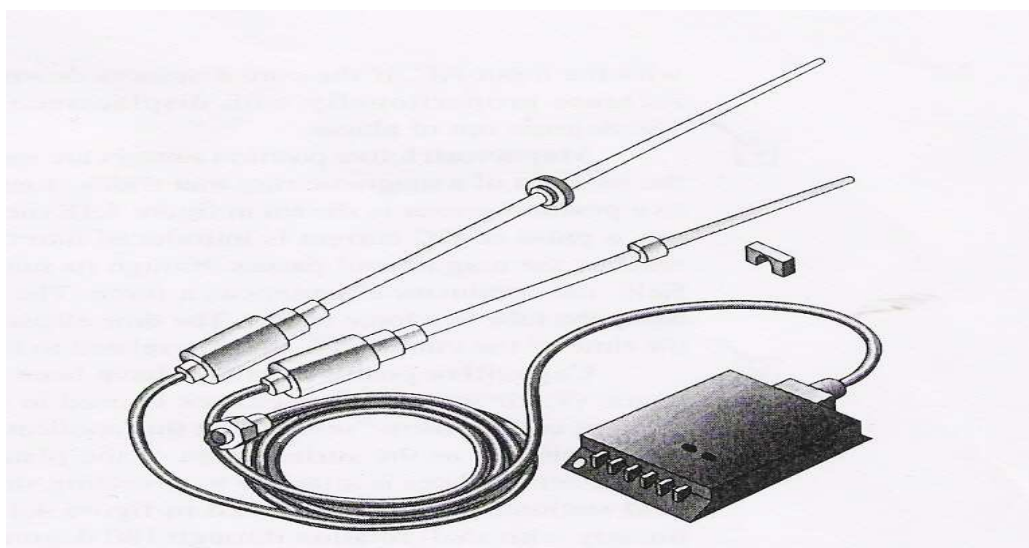
Στο σχήμα 55A φαίνεται ένα ποτενσιόμετρο για την μέτρηση της θέσης ή μετατόπισης σε περιστροφική μορφή ενώ στο 55B είναι σε μια ευθεία. Η έξοδος του ποτενσιόμετρου είναι ανάλογη με την θέση του κινητού άξονα (moveable wiper). Εξαιτίας της αλλαγής της θερμοκρασίας, της φθοράς και της τριβής έχουν το μειονέκτημα ότι δεν είναι ακριβή.

LVDT (LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER)

Τα LVDT είναι τα πιο συνηθισμένα για την μέτρηση της θέσης και της μετατόπισης. Για το LVDT έγινε πλήρης αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο και αυτό γιατί χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς αισθητήρες.

MAGNETOSTRICTIVE

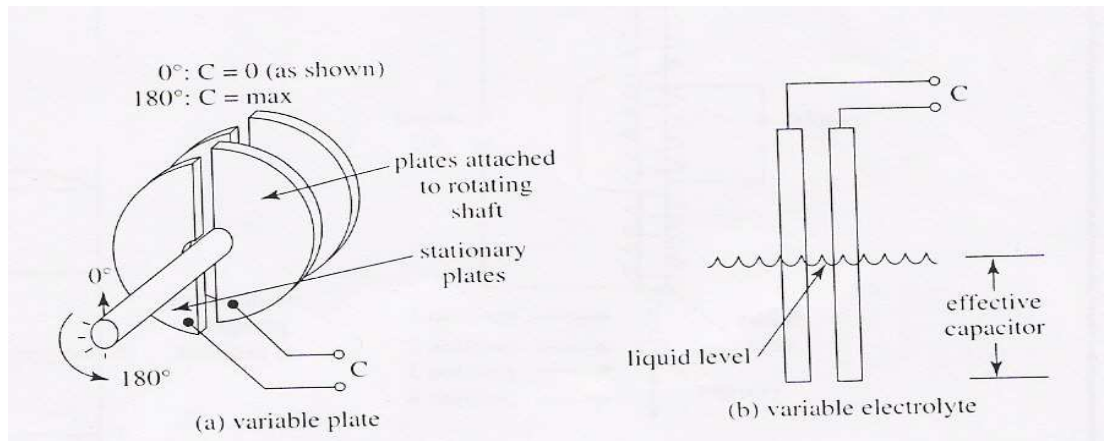
Η αρχή αυτού του αισθητήρα μέτρησης της θέσης είναι η εκπομπή DC παλμών μέσα σ' ένα σωλήνα στον οποίο υπάρχει ένα μαγνητικό δακτυλίδι. Όταν ο παλμός φθάσει στο δακτυλίδι αυτός αναστρέφεται και επιστρέφει πίσω. Ο χρόνος που χρειάζεται από τη στιγμή που θα εκπεμπθεί ο παλμός μέχρι τη στιγμή που θα επιστρέψει πίσω είναι ανάλογος με τη θέση του δακτυλιδιού. Ένας τέτοιος αισθητήρας φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 56

ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ Ή ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Έχουν χρησιμοποιηθεί και στα ραδιόφωνα για την επιλογή της συχνότητας. Στην προκειμένη περίπτωση η ονομασία αισθητήρας ίσως να μην είναι εντελώς σωστή. Το επόμενο σχήμα θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του χωρητικού αισθητήρα.



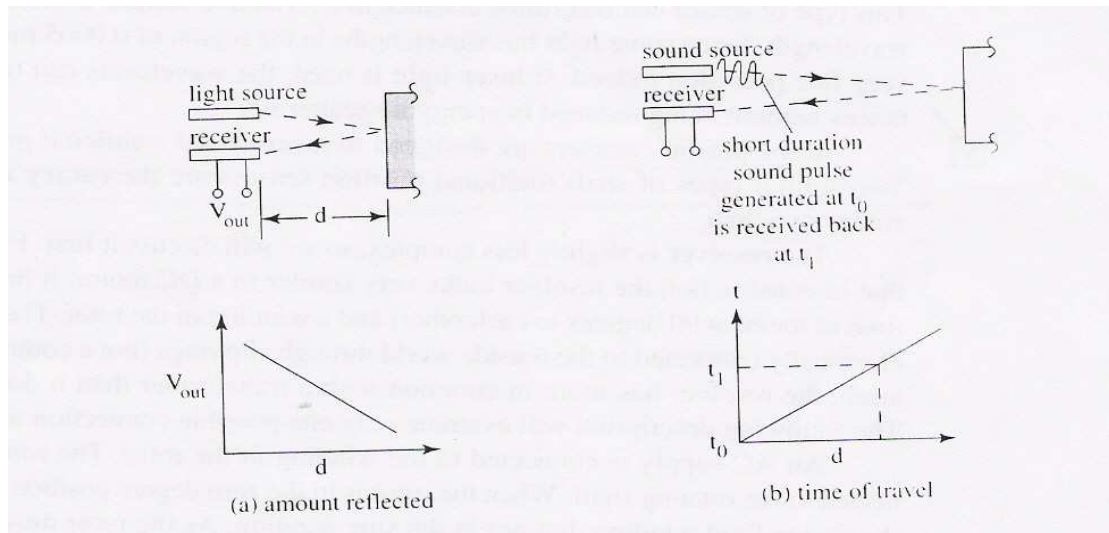
Εικόνα 57

Η χωρητικότητα του πυκνωτή αυξάνεται όσο η επιφάνεια των πλακών αυξάνεται. Όπως φαίνεται και στο σχήμα στη θέση αυτή η γωνία είναι 0° , Ενώ όταν οι περιστρεφόμενες πλάκες περιστραφούν δεξιόστροφα και μπουν μέσα στις στάσιμες, τότε θα έχουμε γωνία 180° .

Αντικαθιστώντας το διηλεκτρικό του πυκνωτή με υγρό αντί για αέρα μπορούμε να μετρήσουμε το ύψος του υγρού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα (b) όσο το ύψος του υγρού αυξάνεται τόσο καλύπτει την επιφάνεια των πλακών και κατά συνέπεια αυξάνεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΑ ΚΥΜΑΤΑ

Μεγάλη ποικιλία αισθητήρων για την μέτρηση της θέσης λειτουργούν με βάση την αρχή των ανακλώμενων κυμάτων (Εικόνα 58α). Τα κύματα μπορεί να είναι είτε ήχος είτε φως. Η πιο απλή κατηγορία αισθητήρα είναι αυτή των οπισθοανακλαστικών δεσμών φωτός (retroreflective light beam sensor)

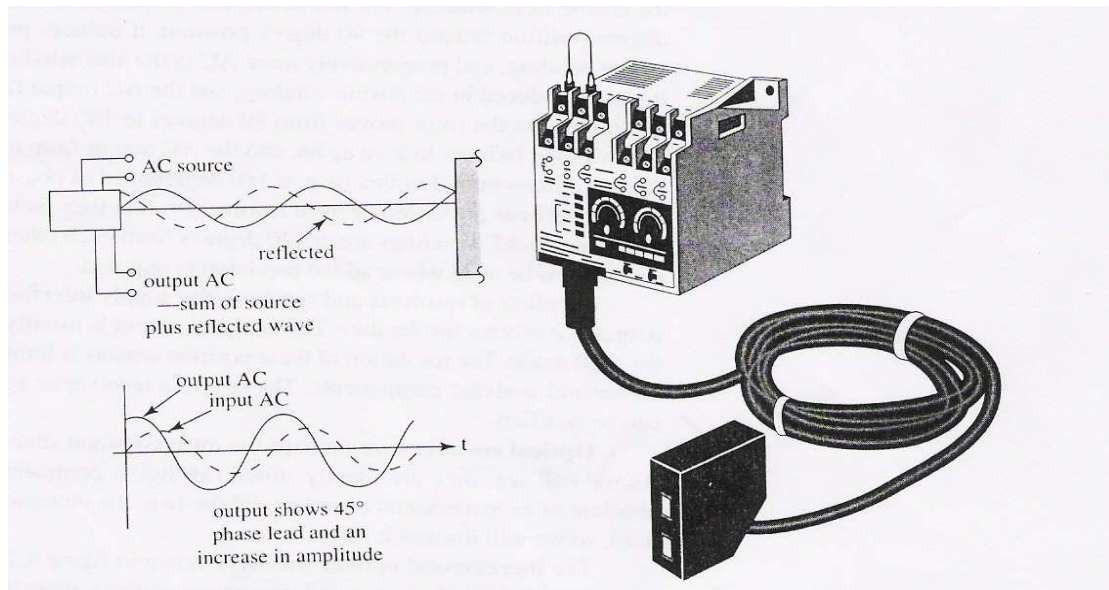


Εικόνα 58

Η έξοδος του αισθητήρα είναι ανάλογη της ποσότητας του φωτός που ανακλάτε και επιστρέφει προς τον ανιχνευτή φωτός, άρα και της κοντινότερης ανακλαστικής επιφάνειας.

Ένας άλλος τύπος αισθητήρα, παρόμοιος με τον προηγούμενο αλλά περισσότερο πολύπλοκος, είναι ο σαρωτής με υπέρηχους (ultrasound scanner). Στην προκειμένη περίπτωση, ένας υψηλής συχνότητας παλμός παράγεται, αυτός θα ανακλαστεί από το στόχο και θα επιστρέψει πίσω. Η απόσταση του στόχου από την γεννήτρια είναι ανάλογη με τον χρόνο που χρειάζεται να κάνει ο παλμός από την γεννήτρια μέχρι τον στόχο και να επιστρέψει(Εικόνα 58β) .

Κάτι πιο πολύπλοκο αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια, είναι η μέτρηση της θέσης με αισθητήρα τύπου **interferometer** ο οποίος χρησιμοποιεί ενέργεια σε μορφή ήχου ή φωτός. Το εκπεμπόμενο κύμα αλληλεπιδρά με το ανακλώμενο κύμα όπως φαίνεται και στο σχήμα 59.



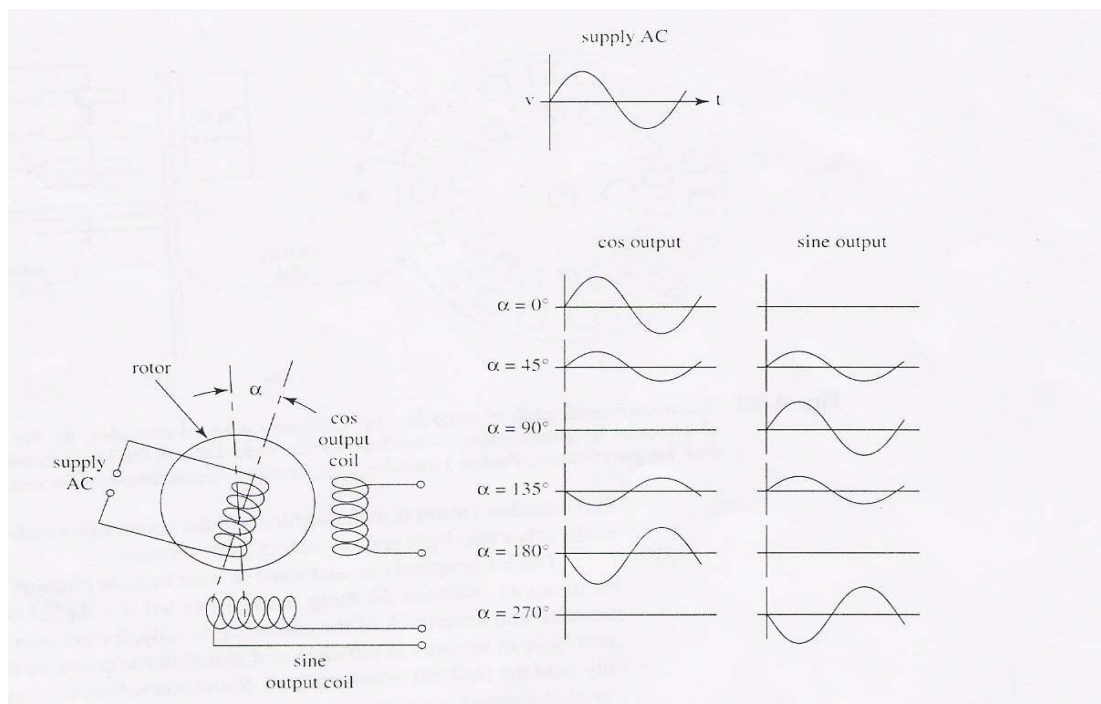
Εικόνα 59

Αν οι κορυφές των δύο κυματομορφών(πηγής, ανακλώμενο) συμπίπτουν δηλαδή η διαφορά φάση είναι 0, τότε η συνολική κυματομορφή θα έχει διπλάσιο πλάτος από την αρχική. Αν τα δύο κύματα έχουν διαφορά φάσης 180° , η συνολική κυματομορφή θα έχει μηδενικό πλάτος. Βέβαια, αυτές οι δυο τιμές που προαναφέρθηκαν είναι οι δύο ακραίες. Επομένως, η απόσταση μετριέται βάση της διαφοράς φάσης των δύο κυματομορφών. Αν χρησιμοποιηθεί LASER τότε η απόσταση που μπορεί να μετρήσει είναι μεγαλύτερη χωρίς απώλειες.

ROTARY RESOLVER – ROTARY SYNCHRO

Οι δύο αυτοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της περιστροφικής θέσης. Ο τρόπος λειτουργίας τους δεν διαφέρει και πολύ. Ξεκινώντας από τον resolver, όπως φαίνεται από το σχήμα μοιάζει με DC κινητήρα. Έχει δύο τυλίγματα 90° το ένα από το άλλο και αυτό του κινητήρα. Στη λειτουργία του, μοιάζει πιο πολύ με μετασχηματιστή παρά

με κινητήρα. Η εικόνα που ακολουθεί θα βοηθήσει την κατανόηση της λειτουργίας του resolver.



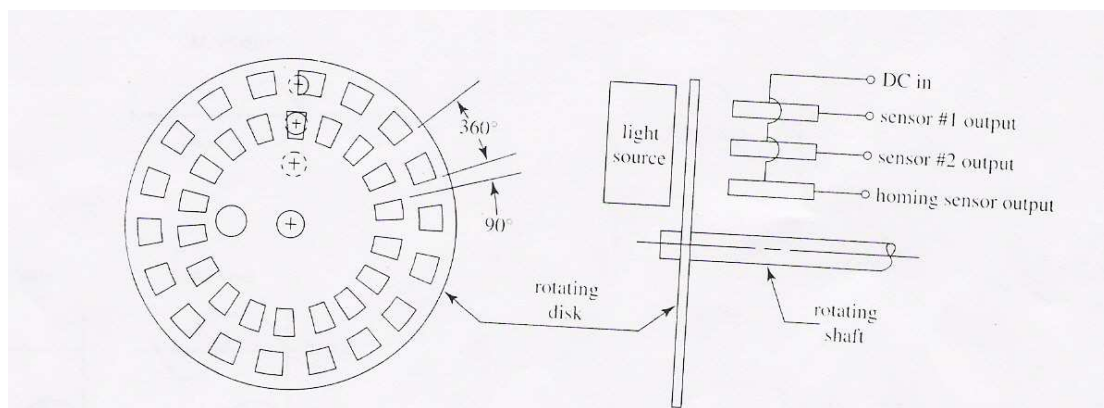
Εικόνα 60

Μια ac πηγή είναι συνδεδεμένη στο τύλιγμα του κινητήρα, ενώ το περιστροφικό τμήμα της μηχανής (rotor) είναι στερεωμένο σ' ένα άξονα. Όταν ο ροτορας είναι στο σημείο των 0° , τότε το τύλιγμα του συνημίτονου επιφέρει μια ac έξοδο. Όσο ο ρότορας κινείται από τις 0° προς τη θέση των 90° , τότε μειώνεται προοδευτικά η ac έξοδος του τυλίγματος του συνημίτονου και αυξάνεται η έξοδος του τυλίγματος του ημίτονου. Στις 90° στο τύλιγμα του συνημίτονου η έξοδος είναι 0, ενώ στο ημίτονο έχει τη μέγιστη τιμή. Όσο ο ρότορας κινείται από τη θέση των 90° στη θέση των 180° , η ac έξοδος του ημίτονου μειώνεται ξανά στο 0, ενώ του συνημίτονου αυξάνεται στη μέγιστη τιμή του, με διαφορά φάσης 180° το σήμα τροφοδοσίας. Τα synchros έχουν ένα επιπλέον τύλιγμα σε απόσταση 120° το ένα από το άλλο σε σχέση με το resolver που ήταν 90° . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα synchros να πλεονεκτούν στην ακρίβεια. Τέλος το κόστος αυτών των δύο αισθητήρων είναι λίγο υψηλό.

ΟΠΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ

Οι οπτικοί κωδικοποιητές είναι ίσως από τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες περιστροφικής θέσης. Υπάρχουν δύο κατηγορίες οπτικών κωδικοποιητών, οι **absolute** και οι **incremental**. Οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται πιο πολύ.

Οι *incremental* αποτελούνται από μια πηγή φωτός, έναν ή δύο δίσκους με σειρές από οπές, τρεις αισθητήρες φωτός και έναν controller. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας τέτοιος δίσκος.



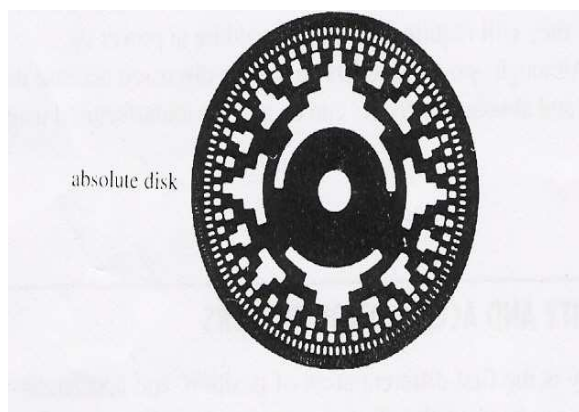
Εικόνα 61

Οι αισθητήρες φωτός ανιχνεύουν το φως που περνάει από τις οπές του δίσκου όταν αυτός περιστρέφεται, στη συνέχεια ο controller μετράει πόσες φορές έχει περάσει φως από τις οπές του δίσκου. Η ανάλυση του αισθητήρα εξαρτάται από τις σειρές των οπών και τον αριθμό των δίσκων που χρησιμοποιούνται. Ο τρόπος που είναι χαραγμένες οι οπές στο δίσκο μας βοηθάει να γνωρίζουμε τη φορά περιστροφής του δίσκου και την αρχικοποίηση της μέτρησης. Σύμφωνα με την εικόνα, η φορά του δίσκου μπορεί να γίνει γνωστή εύκολα. Οι οπές της πρώτης σειράς με αυτές της δεύτερης έχουν διαφορά 90° . Υποθέτοντας ότι ο δίσκος είναι σε τέτοια θέση που περνάει φως σε μια από τις οπές της πρώτης σειράς, αν περιστραφεί δεξιόστροφα, τότε μετά από 90° θα περάσει φως από τις

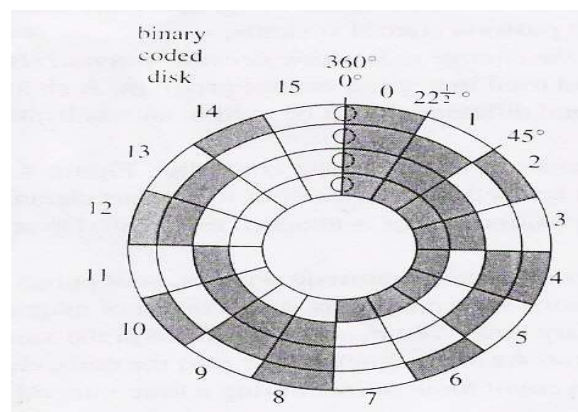
οπές της δεύτερης σειράς, ενώ αν περιστραφεί αριστερόστροφα, από την οπή της δεύτερης σειράς θα περάσει αμέσως φως.

Η τρίτη σειρά του δίσκου χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του μετρητή. Αν για οποιοδήποτε λόγο ο δίσκος σταματήσει σε κάποιο σημείο, ο controller στέλνει ένα σήμα ότι πρέπει να ανιχνεύσει σήμα ο εσωτερικός αισθητήρας και τότε ο δίσκος γυρίζει σιγά - σιγά μέχρι να ανιχνευτεί φως από την οπή. Στο σημείο αυτό (homing) σταματάει ο δίσκος, αρχικοποιείται ο μετρητής, το κύκλωμα αρχικοποίησης απενεργοποιείται και οι άλλοι δύο αισθητήρες είναι έτοιμοι για την διαδικασία της μέτρησης. Η οπή της αρχικοποίησης είναι στην τρίτη σειρά προς το κέντρο του δίσκου.

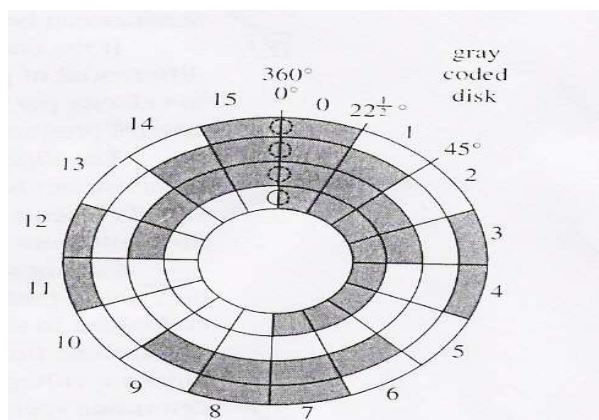
Ο οπτικός κωδικοποιητής absolute χρησιμοποιείται και αυτός για την ανίχνευση της θέσης με μια απλή περιστροφή του δίσκου. Σε αντίθεση με τον incremental δεν χρειάζεται σημείο homing. Αυτοί οι κωδικοποιητές αποτελούνται από μια πηγή φωτός, τον περιστρεφόμενο δίσκο με περισσότερες από τρεις σειρές από οπές και τον αισθητήρα φωτός(έναν για κάθε δακτυλίδι). Η θέση του δίσκου παρουσιάζεται στο δυαδικό ή στο σύστημα Gray. Κάθε αισθητήρας ή δακτυλίδι του δίσκου είναι ένα bit. Αν ο αισθητήρας λαμβάνει φως, η έξοδος είναι "1", διαφορετικά η έξοδος είναι "0". Στην εικόνα 62B φαίνεται ένας δίσκος τεσσάρων δακτυλιδιών και ένας τυπικός εννέα δακτυλιδιών(Εικόνα 62B).



Εικόνα 62 A



Εικόνα 62 B



Εικόνα 63

Επίσης φαίνεται και ο πίνακας του δυαδικού συστήματος και του συστήματος Gray που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύστημα. Στην εικόνα 63 φαίνεται ο δίσκος στο σύστημα Gray

	BINAR	GRAY
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Ο εσωτερικός αισθητήρας φωτός δίνει το πιο σημαντικό bit. Το δεύτερο πιο σημαντικό bit το δίνει ο δεύτερος αισθητήρας από το κέντρο. Κατά την περιστροφή του δίσκου, από 0 έως 90°, οι δύο πρώτοι αισθητήρες από το κέντρο δίνουν 00, 01 για περιστροφή από 90 έως 180°, 10 από 180 έως 270° Και 11 από 270 έως 360°. Κάθε επιπλέον δακτυλίδι που προστίθεται στο δίσκο διπλασιάζει την ανάλυση του συστήματος. Η ακρίβεια εξαρτάται από το πόσο καλά έχουν χαραχτεί οι οπές πάνω στο δίσκο και το πόσο καλά αποκρίνεται ο αισθητήρας στις οπές.

Το μειονέκτημα του absolute είναι ότι μπορεί να δώσει λανθασμένη ένδειξη θέσης όταν ο δίσκος κινείται από το κομμάτι 15 στο 0 και αυτό γιατί ένας από τους αισθητήρες μπορεί να αλλάξει πριν από τους άλλους με αποτέλεσμα η έξοδος κάποιου αισθητήρα να είναι σε μεταβατική ακόμα κατάσταση. Το πρόβλημα αυτό λύνεται αν χρησιμοποιηθεί αντί

για το δυαδικό σύστημα το σύστημα Gray. Στο σύστημα αυτό κάθε φορά αλλάζει ένας μόνο αισθητήρας, έτσι το πιθανό λάθος ελαχιστοποιείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Στους αισθητήρες θερμοκρασίας υπάρχει μια τεράστια γκάμα από αισθητήρια. Οι κυριότεροι τύποι είναι τα θερμοζεύγοι, τα RTD, τα ολοκληρωμένα και τα θερμίστορ. Το καθ' ένα από αυτά χωρίζεται σε άλλες υποκατηγορίες ανάλογα με το υλικό που είναι κατασκευασμένο, το εύρος θερμοκρασίας που μπορεί να μετρήσει, την ευαισθησία, τη γραμμικότητα που παρουσιάζει και τον χρόνο απόκρισης. Έτσι όταν πρόκειται να αγοράσουμε ένα αισθητήριο πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές του ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις μας. Μέσα από αυτήν την πειραματική μελέτη θα δούμε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων θερμοκρασίας

Τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική μελέτη ήταν :

- 1) το LM 35
- 2) το θερμίστορ NTC UEI 310 με ονομαστική αντίσταση 10KΩ στους 25 °C
- 3) το RTD PT 100 και
- 4) το θερμοζεύγος τύπου K

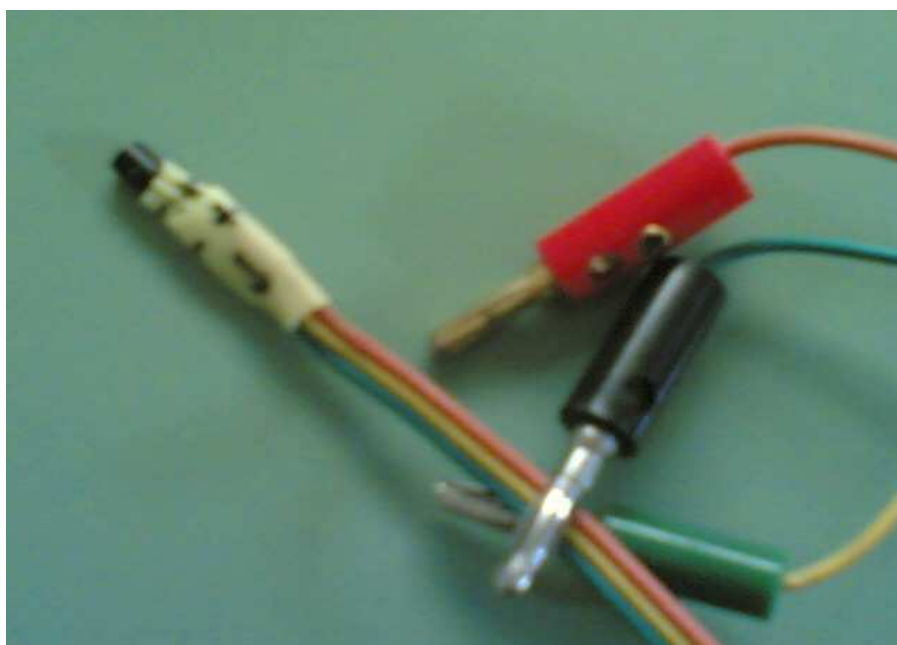
Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη της μελέτης ήταν ένα Ωμόμετρο, ένα βολτόμετρο, ένα αμπερόμετρο, ένα ψηφιακό θερμόμετρο και ένας transducer.

Η βασική διαδικασία του πειράματος ήταν να μεταβάλλουμε την θερμοκρασία του αισθητηρίου και να δούμε πως επηρεάζεται η τάση, το ρεύμα ή και η αντίσταση. Επίσης, μετά την αποκομιδή των

αποτελεσμάτων (τάση, ρεύμα, αντίσταση) σειρά έχει η επεξεργασία και η μελέτη των τιμών αυτών. Τέλος θα χαραχθούν και οι γραφικές παραστάσεις ώστε να διεξάγουμε πιο εύκολα τα συμπεράσματα.

1) LM 35

Αναμφοισβήτητα είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα αισθητήρια για την μέτρηση της θερμοκρασίας. Η πολύ καλή γραμμικότητα που παρουσιάζει, η διακριτή έξοδος του, το γεγονός ότι δεν χρειάζεται καλιμπράρισμα και η χαμηλή του τιμή, είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα του LM 35. Στην εικόνα 64 φαίνεται το LM35 που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις στο εργαστήριο.



Εικόνα 64

Η σειρά των LM35 αποτελείται από πολλούς τύπους οι οποίοι δεν διαφέρουν και πολύ. Η πιο σημαντική διαφορά είναι στο περίβλημα και στην συνδεσμολογία. Η ονομασία του συνοδεύεται στο τέλος από ένα έως τρία γράμματα ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα. Στις μετρήσεις

χρησιμοποιήθηκε το LM35DZ. Στην εικόνα 65 φαίνεται το διάγραμμα σύνδεσης καθώς και το σασί του (TO-92)



Εικόνα 65

Στα μειονεκτήματά του συγκαταλέγονται ότι απαιτείται τάση τροφοδοσίας (από 4V έως 30V), είναι αργό και αυτοθερμάνεται. Στο πείραμα τροφοδότησα το LM35DZ με 24Volt DC.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ΚΕΛΣΙΟΥ)	ΤΑΣΗ (mV)
5	50
10	100
15	150
20	200
25	250
30	300
35	350
40	400
45	450
50	500
55	550
60	600
65	650
70	700
75	750
80	800
85	850
90	900
95	950
100	1000

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρήθηκε και ήταν 26,5°C, η τάση στην έξοδο του αισθητήρα ήταν 265mV. Όπως φαίνεται και από τις μετρήσεις στον πίνακα και από το γράφημα που ακολουθεί, βλέπουμε ότι το αισθητήριο είναι γραμμικό και η μεταβολή είναι 10mV/°C. Επειδή δεν υπήρχε ο κατάλληλος εξοπλισμός για να πετύχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ή πολύ υψηλές, το εύρος της θερμοκρασίας που μετρήσαμε είναι από 0°C έως 100°C. Βέβαια το εύρος που μπορεί να μετρήσει είναι πολύ μεγαλύτερο, από -55°C μέχρι 150°C.

Στη συνέχεια φαίνεται η γραφική παράσταση θερμοκρασίας συναρτήσει της τάσης. Όπως απεικονίζεται από το γράφημα, το αισθητήριο είναι γραμμικό.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω λόγω του ότι δεν υπήρχε ο κατάλληλος εξοπλισμός δεν ήταν εφικτό να πάρω μετρήσεις για όλο το εύρος

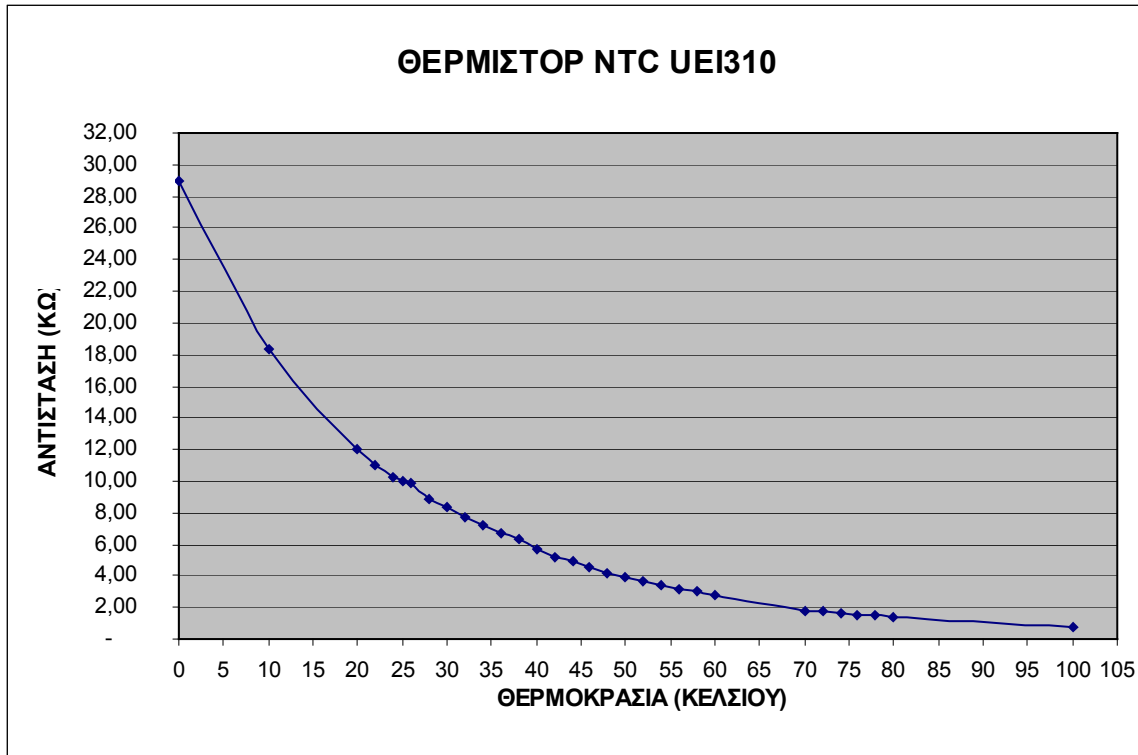
Εικόνα 66



θερμοκρασίας που μπορεί να μετρήσει το θερμίστορ δηλαδή από -20°C έως 125°C περίπου, έτσι λοιπόν οι μετρήσεις πάρθηκαν για θερμοκρασίες από 0°C έως 100°C .

Στη συνέχεια φαίνεται ο πίνακας τιμών των μετρήσεων. Όπως φαίνεται από τον πίνακα τιμών όσο η θερμοκρασία αυξάνεται η αντίσταση μειώνεται και είναι λογικό αφού το θερμίστορ είναι αρνητικού θερμοκρασιακού συντελεστή(NTC). Όπως προαναφέρθηκε, το αισθητήριο είναι των $10\text{K}\Omega$, αυτό αποδείχτηκε και από τις μετρήσεις αφού στους 25°C (θερμοκρασία περιβάλλοντος) η αντίσταση είναι $10\text{K}\Omega$. Τα πλεονεκτήματα του θερμίστορ είναι η υψηλή έξοδος του, η γρήγορη απόκριση στην αλλαγή της θερμοκρασίας, και η ευαισθησία του. Στα μειονεκτήματα του εντάσσονται ότι είναι εύθραστο και αυτοθερμαίνεται. Τέλος από τη γραφική παράσταση που ακολουθεί καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το θερμίστορ δεν είναι καθόλου γραμμικό.

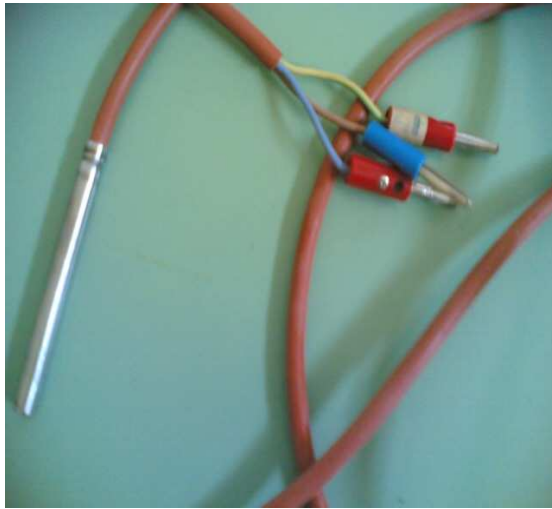
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ΚΕΛΣΙΟΥ)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (ΚΩ)
0	29,01
10	18,30
20	12,05
22	11,00
24	10,28
25	10,00
26	9,88
28	8,91
30	8,33
32	7,75
34	7,20
36	6,73
38	6,29
40	5,70
42	5,20
44	4,92
46	4,54
48	4,20
50	3,93
52	3,67
54	3,39
56	3,17
58	2,99
60	2,80
70	1,82
72	1,71
74	1,63
76	1,55
78	1,47
80	1,39
100	0,80



3) RTD PT 100

Όπως ξέρουμε από τη θεωρία, στα RTD η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Αυτό οφείλεται στο ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των RTD έχουν θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή. Τέτοια υλικά είναι η πλατίνα και το νικέλιο. Τα RTD που είναι κατασκευασμένα από πλατίνα χρησιμοποιούνται περισσότερο και μπορούν να μετρήσουν θερμοκρασία από -270°C έως 660°C . Εξαιτίας της αποδοτικότητας, της γραμμικής του συμπεριφορά και του μικρού μεγέθους του, τα RTD χρησιμοποιούνται περισσότερο από κάθε άλλο αισθητήρα. Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται το αισθητήριο που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο και ένας TRANSDUCER όπου συνδέθηκαν οι ακροδέκτες του RTD. Το αισθητήριο που χρησιμοποίησα στο εργαστήριο είναι από πλατίνα και έχει ονομαστική αντίσταση 100Ω στους 0°C .

RTD PT100

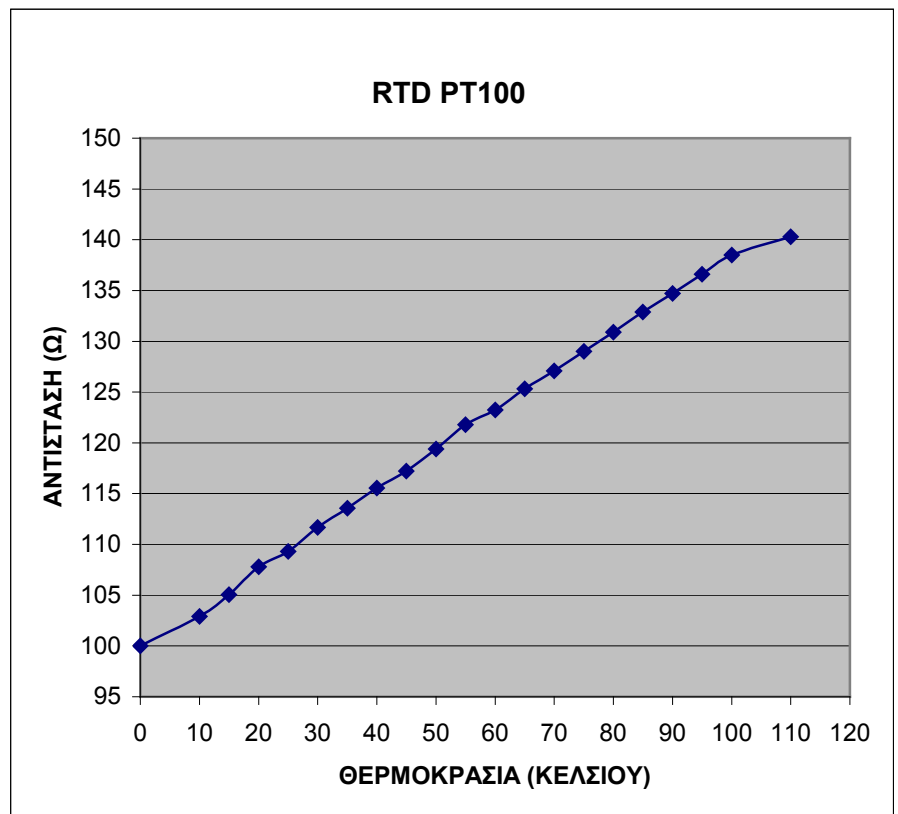


TRANSDUCER



Εικόνα 67

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ΚΕΛΣΙΟΥ)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ω)
0	100
10	102,9
15	105,07
20	107,79
25	109,32
30	111,67
35	113,55
40	115,54
45	117,22
50	119,4
55	121,8
60	123,24
65	125,32
70	127,08
75	129,01
80	130,9
85	132,9
90	134,71
95	136,62
100	138,51
110	140,3



Η ηλεκτρική έξοδος του αισθητηρίου εύκολα μπορεί να ανιχνευτεί, να μετρηθεί, να καταγραφεί και να επεξεργαστεί. Από τη γραφική παράσταση της θερμοκρασίας συναρτήσει της αντίστασης βλέπουμε την πολύ καλή γραμμικότητα που χαρακτηρίζει το αισθητήριο.

4) ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ ΤΥΠΟΥ Κ

Στα ηλεκτρονικά τα θερμοζεύγιοι εκτός από αισθητήρες θερμοκρασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν μετατροπείς από θερμική σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι οικονομικά , έχουν καθορισμένους τρόπους σύνδεσης και μπορούν να μετρήσουν μεγάλο εύρος θερμοκρασίας ανάλογα από το υλικό που είναι κατασκευασμένο. Ο μόνος περιορισμός είναι η ακρίβεια. Ο τρόπος λειτουργίας του έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο με τους αισθητήρες θερμοκρασίας. Στην εικόνα 68 απεικονίζεται το θερμοζεύγιο που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις. Είναι ένα θερμοζεύγιο τύπου Κ. Τι εννοούμε όταν λέμε θερμοζεύγιο τύπου Κ ;



Εικόνα 68

Η απάντηση είναι ότι το γράμμα που χαρακτηρίζει τον τύπο του αισθητηρίου μας εξηγεί στην ουσία από τη υλικά είναι κατασκευασμένο και μερικά χαρακτηριστικά για το αισθητήριο. Στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη αναφορά στους τύπους των θερμοζεύγων.

ΣΥΜΒΟΛΟ Κ : Χρωμιονικέλιο /Αλουμέλ

Θερμοζεύγιο γενικού σκοπού. Χαμηλό κόστος. Μεγάλη διαθεσιμότητα σε ακροδέκτες. Ευαισθησία $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

Εύρος μέτρησης -200°C έως 1200°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,75$

ΣΥΜΒΟΛΟ E : Χρωμιονικέλιο / Κοστανταν

Υψηλή έξοδος $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Εύρος μέτρησης -200°C έως 1100°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,5$

ΣΥΜΒΟΛΟ J : Σίδηρος / Κοστανταν

Εύρος μέτρησης -40°C έως 750°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,4$

Τα σύμβολα B,R,S είναι από ευγενή μέταλλα. Εξαιτίας της χαμηλής ευαισθησίας ($10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$), χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στις υψηλές θερμοκρασίες ($>300^\circ\text{C}$).

ΣΥΜΒΟΛΟ B : Λευκόχρυσος / Ρόδιο

Κατάλληλο για θερμοκρασίες μέχρι 1800°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,5$

ΣΥΜΒΟΛΟ R : Λευκόχρυσος / λευκόχρυσος, Ρόδιο

Κατάλληλο για θερμοκρασίες μέχρι 1600°C

Χαμηλή ευαισθησία $10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,5$

Υψηλό κόστος

ΣΥΜΒΟΛΟ S : Λευκόχρυσος / λευκόχρυσος, Ρόδιο

Κατάλληλο για θερμοκρασίες μέχρι 1600°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,5$

ΣΥΜΒΟΛΟ T : Χαλκός / Κοσταντάν

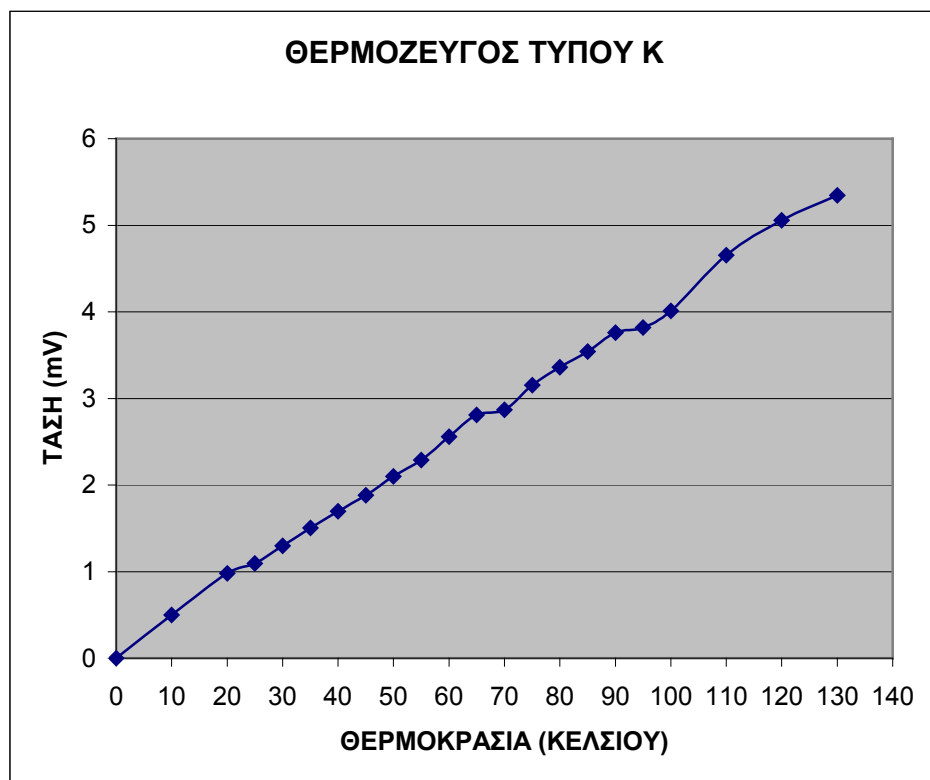
Κατάλληλο για μετρήσεις από -200°C έως 0°C

Μέγιστο σχετικό σφάλμα $\pm 0,4$

Θετικός αγωγός Χαλκός , Αρνητικός αγωγός Κοστανταν

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι μετρήσεις που καταγράφηκαν στο εργαστήριο και με βάση αυτές η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας συναρτήσει της τάσης.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (ΒΑΘΜΟΙ ΚΕΛΣΙΟΥ)	ΤΑΣΗ (mV)
0	0
10	0,5
20	0,98
25	1,093
30	1,299
35	1,504
40	1,697
45	1,88
50	2,1
55	2,29
60	2,56
65	2,81
70	2,87
75	3,155
80	3,359
85	3,542
90	3,76
95	3,82
100	4,01
110	4,653
120	5,056
130	5,347



Από τη γραφική παράσταση προκύπτει το συμπέρασμα ότι το θερμοζεύγος δεν έχει ικανοποιητική γραμμικότητα. Στα μειονεκτήματα μπορούν να προστεθούν η χαμηλή τάση στην έξοδο, χαμηλή σταθερότητα, απαιτείται σημείο αναφοράς και η μικρή ευαισθησία του.

Αντίθετα, είναι αυτοτροφοδοτούμενο και όπως διαπιστώθηκε από τα παραπάνω υπάρχει μεγάλη ποικιλία ανάλογα με τις απαιτήσεις μας και μπορεί να μετρήσει μεγάλο εύρος θερμοκρασίας.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας κάθε αισθητήριο έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Ανάλογα με τις απαιτήσεις μας θα επιλέξουμε το αισθητήριο αυτό που πλησιάζει τις απαιτήσεις μας. Έτσι το μεγαλύτερο εύρος μέτρησης θερμοκρασίας το έχει το θερμοζεύγος αλλά υστερεί στη γραμμικότητα, στην ευαισθησία και στην σταθερότητα. Το LM35 έχει ίσως την καλύτερη γραμμικότητα απ' όλα, υστερεί όμως στο εύρος της θερμοκρασίας που μπορεί να μετρήσει. Είναι αργό, απαιτείται τάση τροφοδοσίας και αυτοθερμαίνεται. Αν στις απαιτήσεις μας θέλουμε ακρίβεια και σταθερότητα και δεν μας εμποδίζει το κόστος, και το ότι χρειάζεται επιπλέον τροφοδοσία τότε το καταλληλότερο είναι το RTD. Τέλος, το θερμίστορ, έχει υψηλή έξοδο και είναι γρήγορο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
3. TRANSDUCERS SENSORS AND DETECTORS
4. SENSORS
5. INDUSTRIAL CONTROL DEVICES
6. SENSOR TECHNOLOGY DEVICES
7. SWITCHES AND TRANSDUCERS
8. NATIONAL SEMICONDUCTOR
9. SENSOR TECHNOLOGY
10. SENSORS APPLICATIONS
11. INDUSTRIAL MICROWAVE SENSORS

INTERNET

1. WWW.WIKIPEDIA.ORG
2. WWW.MACROSENSORS.COM
3. WWW.PEAKSENSORS.CO.UK