

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές
αισθητήρων θερμοκρασίας.*

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

Καράλης Δημήτρης

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

Φραγκιαδάκης Νικόλαος

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|----|
| Πρόλογος..... | 5 |
| 1 .Θερμοκρασία | |
| 1.1 Γενικά..... | 7 |
| 1.2 Θερμόμετρα..... | 8 |
| 1.3 Οι θερμομετρικές κλίμακες..... | 9 |
| 2. Αισθητήρες | |
| 2.1 Ορισμός και ο ρόλος των αισθητήρων..... | 10 |
| 2.1.1 Ταξινόμηση των αισθητήρων..... | 11 |
| 2.1.2 Χαρακτηριστικά των αισθητήρων..... | 12 |
| 2.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας..... | 17 |
| 3. Κλασσικοί αισθητήρες θερμοκρασίας (τύπου επαφής) | |
| 3.1 Θερμοζεύγη..... | 19 |
| 3.1.1 Αρχές λειτουργίας..... | 21 |
| 3.1.2 Τρόπος Σύνδεσης Θερμοζευγών..... | 22 |
| 3.1.3 Είδη θερμοζευγών..... | 26 |
| 3.1.4 Εφαρμογές θερμοζευγών..... | 31 |
| 3.1.5 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα θερμοζευγών..... | 32 |
| 3.1.6 Παραδείγματα θερμοζευγών..... | 32 |
| 3.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας με αντίσταση | |
| 3.2.1 Γενικά..... | 33 |
| 3.2.2 Βασικές αρχές λειτουργίας για τα RTDs..... | 38 |
| 3.2.3 Κατηγοριοποίηση RTDs ως προς το υλικό..... | 39 |
| 3.2.4 Γενικά κατασκευαστικά για τα RTD..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 3.2.5 Τύποι αισθητήρων RTD | 42 |
| 3.2.6 Μέτρηση της αντίστασης των αισθητήρων RTD | 43 |
| 3.2.7 Φαινόμενο Αυτοθέρμανσης..... | 47 |
| 3.2.8 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα αισθητήρων RTD | 48 |
| 3.2.9 Εφαρμογές αισθητήρων RTD | 48 |
| 3.2.10 Παραδείγματα αισθητήρων RTD..... | 51 |
| 3.3 Θερμίστορ | |
| 3.3.1 Γενικά..... | 54 |
| 3.3.2 Αρχή λειτουργίας θερμίστορ | 55 |
| 3.3.3 Θερμίστορ τύπου NTC..... | 58 |
| 3.3.4 Θερμίστορ PTC | 62 |
| 3.3.5 Τρόποι σύνδεσης Θερμοαντιστατών..... | 64 |
| 3.3.6 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές θερμίστορ | 66 |
| 3.3.7 Πλεονεκτήματα -Μειομεκτήματα | 68 |
| 3.3.8 Παραδείγματα αισθητήρων θερμίστορ | 68 |
| 4 Θερμόμετρα με υγρό και αέριο | |
| 4.1 Γενικά | 70 |
| 4.1.1 Θερμόμετρα υγρού σε γυαλί | 70 |
| 4.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα | 71 |
| 4.2 Θερμόμετρα υγρού σε μέταλλο | 72 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.1 | Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα | 73 |
| 4.3 | Θερμόμετρα αερίου από σταθερό όγκο | 74 |
| 4.4 | Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα | 76 |
| 4.4.1 | Είδη διμεταλλικών θερμομέτρων | 77 |
| 4.4.2 | Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα | 78 |
| 4.4.3 | Παραδείγματα διμεταλλικών θερμομέτρων | 79 |
| 4.5 | Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν | 81 |
| 5. | Αισθητήρες θερμοκρασίας για μέτρηση από απόσταση | 83 |
| 5.1 | Πυρόμετρα απορρόφησης | 86 |
| 5.1.1 | Αρχή λειτουργίας πυρομέτρων | 88 |
| 5.2 | Οπτικά πυρόμετρα | 90 |
| 5.2.1 | Κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας | 91 |
| 5.2.2 | Αρχή λειτουργίας αισθητήρων υπερύθρου | 93 |
| 5.2.3 | Χρήση αισθητήρων υπερύθρου | 94 |
| 5.2.4 | Πλεονεκτήματα υπέρυθρης τεχνολογίας | 95 |
| 5.2.5 | Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρου | 96 |
| 5.3 | Αισθητήρες οπτικών ινών | |
| 5.3.1 | Γενικά | 98 |
| 5.3.2 | Μετρήσεις θερμοκρασίας | 99 |
| 5.3.2 | Χρήσεις αισθητήρων οπτικών ινών | 101 |
| 5.3.4 | Παραδείγματα αισθητήρων θερμοκρασίας με οπτική ίνα | 102 |
| | Βιβλιογραφία | 103 |

Πρόλογος

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

Τα είδη θερμομέτρων τα οποία θα περιγράψουμε, είναι αυτά που μετρούν τη θερμοκρασία στηριζόμενα :

- Στη διαστολή ενός υγρού
- Στην διαστολή ενός μετάλλου
- Στην ηλεκτρική αντίσταση
- Στο φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού
- Στην ακτινοβολία θερμότητας

Abstract

In this dissertation, we will deal with temperature sensors and their features. Furthermore, we will look into the categories they are divided, how they are constructed, the way they are used, their advantages and disadvantages.

The types of thermometers that we are going to describe, are the ones that measure temperature based on:

- Dilation of a liquid
- Expansion of a metal
- Electrical resistance
- Phenomenon of thermoelectricity
- Heat radiation

1.Θερμοκρασία

1.1 Γενικά

Θερμοκρασία ονομάζεται ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σώμα, ουσία η 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 μέτρηση της θερμοκρασίας είναι σημαντική επειδή σε διαφορετικές θερμοκρασίες οι φυσικές ιδιότητες των ουσιών είναι διαφορετικές και έτσι αυτές εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία μίας ουσίας θα επηρεάζει τις ηλεκτρικές της ιδιότητες, ανάλογα εάν αυτή είναι σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή, και επίσης θα επηρεάζει τον όγκο της.

Η θερμοκρασία μετριέται με ειδικά όργανα που λέγονται θερμόμετρα, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στο φαινόμενο της διαστολής ή συστολής ως αποτέλεσμα παροχής ή αφαίρεσης της θερμότητας. Αλλά και η μεταβολή της θερμοκρασίας (ύψωση ή υποβιβασμός) είναι επίσης αποτέλεσμα της παροχής ή αφαίρεσης της θερμότητας. Έτσι με την παρατήρηση της διαστολής ή συστολής του υδραργύρου, που χρησιμοποιείται συνήθως στα θερμόμετρα, διαπιστώνεται και η μεταβολή της θερμοκρασίας η οποία αναγνώσκεται στη κατάλληλα βαθμολογημένη σε βαθμούς θερμοκρασίας κλίμακα του θερμομέτρου. Γενικώς τα θερμόμετρα διακρίνονται σε "κοινά" ή "υδραργυρικά" και σε "θερμόμετρα οινόπνεύματος" (για χαμηλότερες θερμοκρασίες). Χρησιμοποιούνται επίσης και "ηλεκτρικά θερμόμετρα" που βασίζονται στην αρχή του θερμοηλεκτρικού στοιχείου, επίσης τα "οπτικά" ή ηλεκτρικά "πυρόμετρα" καθώς και άλλα ειδικών κατηγοριών.

1.2 Θερμόμετρα

Το **θερμόμετρο** είναι το όργανο που μετρά τη θερμοκρασία των σωμάτων. Είναι γνωστό ότι όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ενός σώματος τότε μεταβάλλονται και κάποιες ιδιότητες αυτού π.χ αλλάζει ο όγκος ενός υγρού, η πίεση ενός αερίου, η αντίσταση ενός αγωγού. Για την κατασκευή των θερμομέτρων εκμεταλλευόμαστε τη διαστολή και τη συστολή ενός υγρού, συνήθως του υδραργύρου ή της χρωματισμένης αλκοόλης, με την αύξηση ή την ελάττωση της θερμοκρασίας αντίστοιχα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμομέτρων:

* **Το υδραργυρικό θερμόμετρο** το οποίο αποτελείται από κυλινδρικό ή σφαιρικό δοχείο το οποίο καταλήγει σε τριχοειδή σωλήνα με σταθερή διάμετρο. Το δοχείο περιέχει υδράργυρο ο οποίος διαστέλλεται όταν θερμαίνεται. Ο σωλήνας του θερμόμετρου είναι βαθμονομημένος. Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του υδράργυρου μας παρέχει την αντίστοιχη θερμοκρασία.

* **Το θερμόμετρο οينوπνεύματος** χρησιμοποιείται για την μέτρηση θερμοκρασιών που είναι μικρότερες των $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες μέχρι $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το υδραργυρικό θερμόμετρο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση τέτοιων θερμοκρασιών γιατί ο υδράργυρος πήζει στους $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$.

* **Το θερμόμετρο αντιστάσεως** χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χαμηλών θερμοκρασιών. Στην αρχή λειτουργίας αυτών των θερμομέτρων στηρίζεται και η λειτουργία των θερμομέτρων που ελέγχουν τη θερμοκρασία των κινητήρων των αυτοκινήτων. Είναι γνωστό ότι ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Σε αυτή ακριβώς την ιδιότητα στηρίζεται η λειτουργία του θερμόμετρου αντιστάσεως. Το θερμόμετρο αποτελείται από ένα

σπείραμα το οποίο βρίσκεται μέσα σε σωλήνα από χαλαζία. Για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος φέρουμε το θερμόμετρο σε επαφή με αυτό και μετράμε την αντίσταση του σώματος. Από την αντίσταση υπολογίζουμε και τη θερμοκρασία του σώματος.

Υπάρχουν βέβαια και άλλοι τύποι θερμόμετρων π.χ **το θερμοηλεκτρικό θερμόμετρο** και το **θερμόμετρο μεγίστου και ελαχίστου**.

1.3 Οι θερμομετρικές κλίμακες

Ο **Βαθμός Κέλβιν** ($^{\circ} \text{K}$) είναι μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Η αναφορά σε θερμοκρασίες στην κλίμακα Kelvin γίνεται όταν μια ένδειξη θερμοκρασίας συνοδεύεται με το σύμβολο "K", π.χ. Θερμοκρασία 77 K. Ο Βαθμός Κέλβιν φέρεται κατά την ομώνυμη κλίμακα όπου το απόλυτο μηδέν ($-273,15^{\circ} \text{C}$ βαθμοί Κελσίου) αντιστοιχεί στο 0°K . Η θερμοκρασία 0 K είναι η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία και λέγεται απόλυτο μηδέν.

- Η Κλίμακα Κέλβιν δεν έχει αρνητικές τιμές.
- Ο Βαθμός Κέλβιν είναι η βασική μονάδα μέτρησης θερμοκρασιών σε προβλήματα που έχουν σχέση με τη Θερμοδυναμική, τη Ρευστομηχανική κ.α.
- Ένας βαθμός κλίμακας Κέλβιν ισοδυναμεί με ένα βαθμό Κελσίου.
- Η **κλίμακα Kelvin** μετράει την λεγόμενη **απόλυτη θερμοκρασία**. Η διαφορά της με την κλίμακα Κελσίου έγκειται στους 273,15 βαθμούς. Δηλαδή: $T_k = T_c + 273,15$.

Η **Κλίμακα Φαρενάιτ** είναι κλίμακα μέτρησης θερμοκρασίας και ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του γερμανού φυσικού Γαβριήλ Φαρενάιτ (1686–1736) που την πρότεινε το 1724. Σήμερα έχει σχεδόν αντικατασταθεί από την κλίμακα Κελσίου, πλην όμως χρησιμοποιείται σε περιορισμένους, μη επιστημονικούς, σκοπούς

στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στην κλίμακα Φαρενάιτ το σημείο πήξης του νερού είναι οι 32 βαθμοί Φαρενάιτ ($^{\circ}\text{F}$) και το σημείο βρασμού του οι 212 ($^{\circ}\text{F}$) (σε κανονική πάντα ατμοσφαιρική πίεση), χωρίζοντας έτσι τα δύο σημεία αναφοράς κατά 180 βαθμούς. Συνεπώς, ένας βαθμός της κλίμακας Φαρενάιτ ισούται με το 1/180 του διαστήματος μεταξύ πήξης και βρασμού. Το αντίστοιχο διάστημα στην κλίμακα Κελσίου είναι 100 βαθμοί. Έτσι το διάστημα 1 βαθμού Φαρενάιτ είναι διάστημα $\frac{5}{9}$ του ενός βαθμού Κελσίου. Οι δύο κλίμακες έχουν κοινό σημείο στους -40 βαθμούς (δηλαδή -40°F και -40°C αναπαριστούν την ίδια θερμοκρασία). Το απόλυτο μηδέν στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι οι $-459,67^{\circ}\text{F}$. Η μετατροπή βαθμών από Κελσίου στην κλίμακα Φαρενάιτ γίνεται: $[^{\circ}\text{C}] \times \frac{9}{5} + 32 = [^{\circ}\text{F}]$ και αντιστρόφως $([^{\circ}\text{F}] - 32) \times \frac{5}{9} = [^{\circ}\text{C}]$.

Στην κλίμακα **Κελσίου** η θερμοκρασία τήξεως του πάγου καλείται **μηδέν (0 $^{\circ}\text{C}$)** και η θερμοκρασία βρασμού του νερού καλείται εκατό (100°C) (σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση). Το μεταξύ τους διάστημα χωρίζεται σε 100 ίσα μέρη και καθένα από αυτά τα μέρη ονομάζεται **βαθμός Κελσίου (1 $^{\circ}\text{C}$)**. Η κλίμακα Κελσίου εκτείνεται πάνω από τους 100°C και κάτω από τους 0°C . Οι βαθμοί κάτω από το μηδέν σημειώνονται με αρνητικό πρόσημο π.χ -15°C .

2. Αισθητήρες

2.1 Ορισμός και ο ρόλος των αισθητήρων

Η λέξη αισθητήρας (sensor) χρησιμοποιείται για την περιγραφή των συστημάτων μετρήσεων. Ο όρος sensor προέρχεται από το λατινικό ρήμα sentire που σημαίνει αντιλαμβάνομαι. Ο λεξιλογικός ορισμός της λέξης sensor είναι: μία συσκευή που ανιχνεύει μία αλλαγή σε ένα φυσικό ερέθισμα και το μετατρέπει σε ένα σήμα, το οποίο μπορεί να μετρηθεί ή να καταγραφεί. Ως αισθητήρας επίσης μπορεί να ορισθεί η

διάταξη που μετατρέπει μία μη ηλεκτρική φυσική ή χημική ποσότητα σε ηλεκτρικό σήμα.

Ο ρόλος ενός αισθητήρα μπορεί να παραλληλιστεί με την λειτουργία των αισθήσεων του ανθρώπου. Όπως ο άνθρωπος συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον του χρησιμοποιώντας την όραση, την ακοή, την αφή, την όσφρηση και την γεύση μετατρέποντας αυτές, μέσω των νευρώνων του εγκεφάλου, σε πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων έτσι και οι αισθητήρες σχεδιάστηκαν ώστε να επεξεργάζονται φυσικά δεδομένα και να τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα.

2.1.1 Ταξινόμηση των αισθητήρων

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των αισθητήρων και των ιδιοτήτων τους είναι απαραίτητη η ταξινόμηση τους. Ως κριτήρια ταξινόμησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά από τα χαρακτηριστικά τους, όπως: ο τρόπος ένδειξης, η αρχή λειτουργίας και το ερέθισμα που δέχονται.

Ως προς τον τρόπο ένδειξης, οι αισθητήρες διακρίνονται σε αναλογικούς και ψηφιακούς.

- Αναλογικοί είναι οι αισθητήρες που μετατρέπουν μηχανικά μεγέθη π.χ μήκη διαδρομών σε ηλεκτρικά σήματα τάσεως ή εντάσεως ρεύματος.
- Ψηφιακοί είναι οι αισθητήρες που συλλαμβάνουν το προς μέτρηση μέγεθος με αριθμητικό τρόπο και παράγουν ψηφιακά σήματα με δύο μόνο τιμές.

Ως προς την αρχή λειτουργίας τους οι αισθητήρες διακρίνονται σε μαγνητικούς, ηλεκτρομαγνητικούς, θερμικούς, πιεζοηλεκτρικούς, πιεζοαντίστασης, επαγωγικούς, χωρητικούς, οπτικούς κλπ.

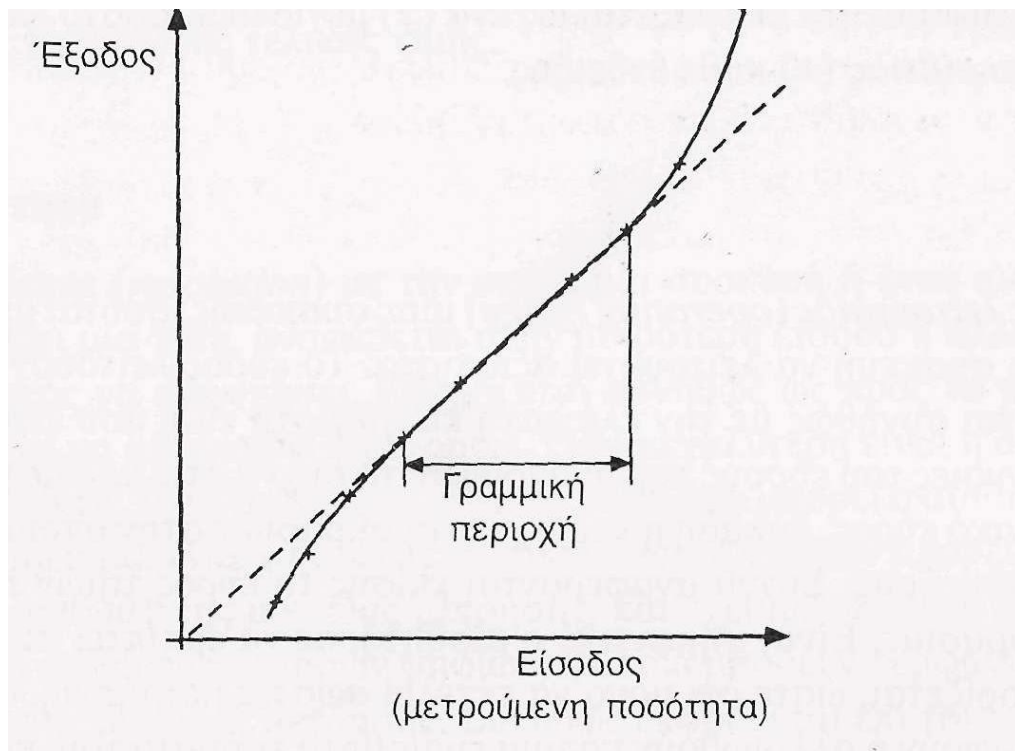
Ως προς το ερέθισμα το οποίο δέχονται και μετρούν οι αισθητήρες διακρίνονται σε: θέσης-μετακίνησης, θερμοκρασίας, δύναμης και ταχύτητας-επιτάχυνσης.

2.1.2 Χαρακτηριστικά των αισθητήρων

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων συγκροτούν τις *προδιαγραφές* τους (*specifications*) και είναι πολλά. Παρότι οι ποικίλοι αισθητήρες που υπάρχουν σήμερα στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας, έχουν κοινά τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

∇ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ

Ο κάθε αισθητήρας διαθέτει ένα χαρακτηριστικό ή ιδιότητα, του οποίου η τιμή μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται η φυσική ποσότητα που μετρά ο αισθητήρας. Είναι επιθυμητό οι μεταβολές της φυσικής ποσότητας να προκαλούν αυστηρά ανάλογες μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται *γραμμικότητα* (*linearity*) και είναι ιδιαίτερης σημασίας. Εάν ο αισθητήρας δεν είναι γραμμικός, τότε η αντιστοίχιση των τιμών του μετρούμενου μεγέθους με τις τιμές εξόδου του αισθητήρα γίνεται με βάση την καμπύλη «βαθμονόμησης». Η μη-γραμμικότητα είναι συχνά εγγενής ιδιότητα του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αισθητήρας και εν γένει είναι αδύνατο να μηδενιστεί.



Σχήμα 2.1 Γραμμικότητα

▽ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Η *ευαισθησία (sensitivity)* εκφράζει πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Έτσι, εάν ένας αισθητήρας θερμοκρασίας έχει ευαισθησία $1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, συνεπάγεται ότι παράγει έξοδο ίση με 1 mV για κάθε βαθμό της μετρούμενης θερμοκρασίας και προφανώς είναι πιο ευαίσθητος από έναν άλλο αισθητήρα με ευαισθησία $0.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, ο οποίος για κάθε θερμοκρασία παράγει ως έξοδο τη μισή τάση.

▽ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η *διακριτική ικανότητα (resolution)* εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας και να μεταβάλλει την έξοδό του ανάλογα. Για παράδειγμα, ένα θερμόμετρο με διακριτική ικανότητα $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

σημαίνει ότι μπορεί να διακρίνει μεταξύ δύο θερμοκρασιών που απέχουν $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, δηλαδή να παράγει εξόδους ελαφρά διαφορετικής τιμής.

▽ ΑΚΡΙΒΕΙΑ

Η ακρίβεια (*accuracy*) ισούται με το σφάλμα που εγγενώς περιέχει η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο, δηλώνει δηλαδή την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου. Μπορεί να εκφράζεται σε απόλυτες τιμές (για παράδειγμα $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$) ή επί τοις εκατό (για παράδειγμα 1%). Στην πρώτη περίπτωση η ανακρίβεια είναι σταθερή και ανεξάρτητη της τιμής του μετρούμενου φυσικού μεγέθους, ενώ στην άλλη περίπτωση η ανακρίβεια είναι ανάλογη της παραπάνω τιμής.

▽ ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

Το εύρος τιμών εισόδου (*full-scale input, FSI*) ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλοί αισθητήρες θερμοκρασίας (θερμοζεύγη, θερμίστορ, θερμοηλεκτρικές αντιστάσεις) αλλά δεν ενδείκνυνται όλοι για τη μέτρηση θερμοκρασιών της τάξης των $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η γνώση του εύρους τιμών εισόδου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τον κατάλληλο αισθητήρα που ταιριάζει στις ανάγκες της εφαρμογής.

▽ ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΞΟΔΟΥ

Το εύρος τιμών εξόδου (*full-scale output, FSO*) ορίζει τη μορφή (δηλαδή τις τιμές) που μπορεί να λαμβάνει η τάση ή το ρεύμα εξόδου ενός αισθητήρα. Οι αισθητήρες διατίθενται εν γένει

σε παραλλαγές με διάφορα εύρη τιμών εξόδου, ώστε να μπορεί ο χρήστης να επιλέξει τη μορφή που ταιριάζει περισσότερο στα κυκλώματα που θα παραλάβουν το σήμα εξόδου (για παράδειγμα σε ένα μετατροπέα A/D). Το εύρος τιμών εξόδου καθορίζεται συχνά από ένα κύκλωμα ρύθμισης σήματος, το οποίο συνδέεται μόνιμα με τον αισθητήρα.

▽ Επαναληψιμότητα

Είναι η ικανότητα ενός μετρητικού συστήματος να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα όταν μετρά την ίδια φυσική ποσότητα υπό τις ίδιες συνθήκες. Σχετίζεται με τη στατιστική διακύμανση των μετρήσεων

▽ Ευαισθησία

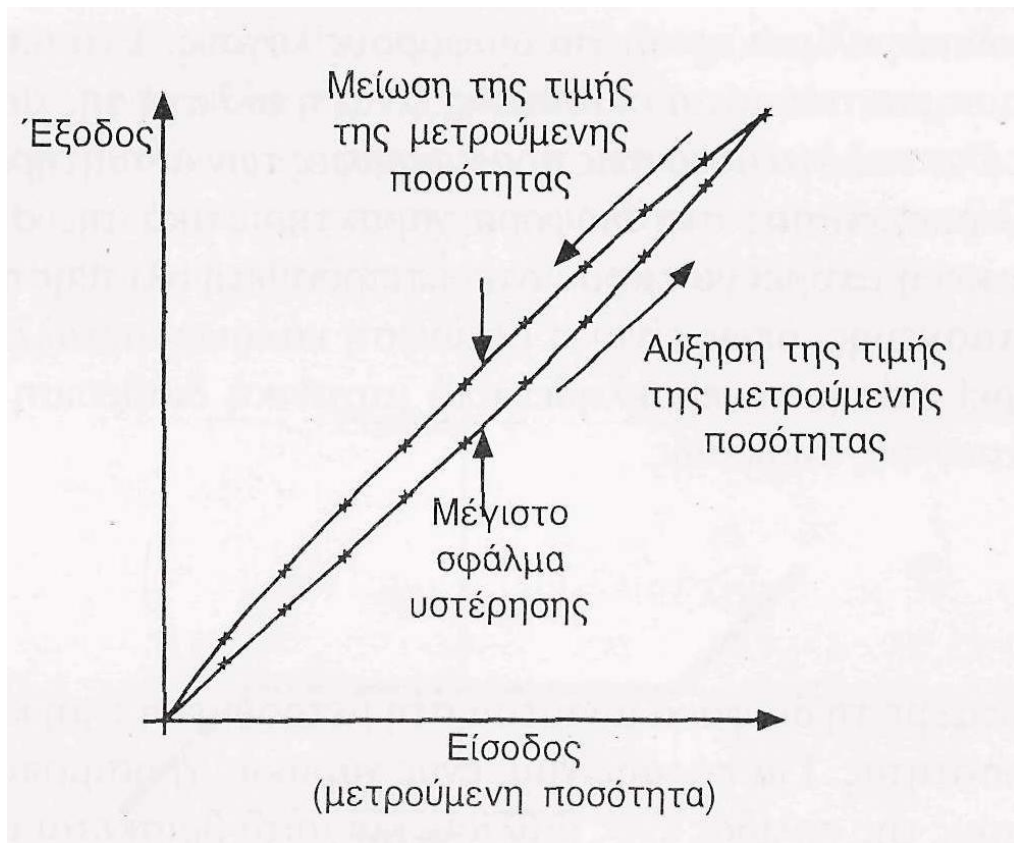
Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι η παράγωγος της συνάρτησης μεταφοράς ως προς τη μετρήσιμη φυσική ποσότητα για μια ορισμένη τιμή της ποσότητας αυτής. Για μια γραμμική συνάρτηση μεταφοράς, η ευαισθησία του αισθητήρα είναι σταθερή. Ένας αισθητήρας με ιδανικά χαρακτηριστικά έχει μεγάλη και σταθερή ευαισθησία

▽ Μονοτονικότητα

Η μονοτονικότητα της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα σημαίνει ότι η καμπύλη της συνάρτησης μεταφοράς είναι πάντα αύξουσα ή πάντα φθίνουσα ως προς την αύξηση της μετρήσιμης ποσότητας.

▽ Υστέρηση

Είναι η απόκλιση μεταξύ των μετρήσεων του αισθητήρα, όταν η μετρήσιμη φυσική ποσότητα προσεγγίζεται από αντίθετες κατευθύνσεις



Σχημα 2.2 Γραφική παράσταση του φαινομένου της υστέρησης

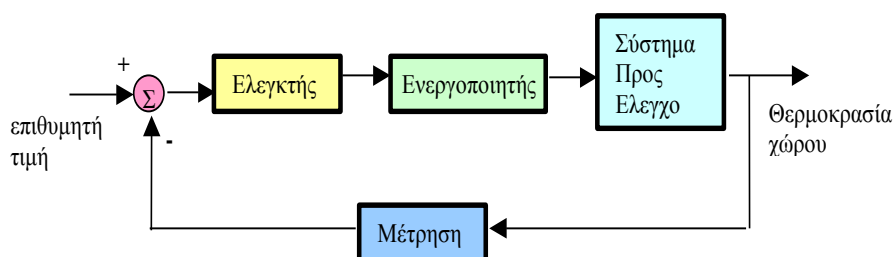
Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι η θερμοκρασία αποτελεί τον συνηθέστερο παράγοντα που αλλοιώνει τις προδιαγραφές των αισθητήρων. Η επίδραση της θερμοκρασίας στους αισθητήρες μπορεί να είναι γνωστή και συχνά υπάρχει τρόπος *αντιστάθμισής* της (*compensation*) με κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα ρύθμισης σήματος. Για την περιγραφή της επίδρασης αυτής ορίζονται διάφορα μεγέθη, όπως η *ολίσθηση του σημείου μηδενός λόγω θερμοκρασίας* (*temperature zero shift*), η *ευαισθησία στη θερμοκρασία* (*temperature sensitivity*) και η *μεταβολή της ευαισθησίας λόγω θερμοκρασίας* (*thermal sensitivity shift*).

2.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας

Η μέτρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα αυτοματισμού. Στις περισσότερες οικιακές συσκευές(π.χ. ηλεκτρική κουζίνα, ψυγείο) αλλά και σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. κατεργασίες υλικών, χημικές παρασκευές), απαιτείται η τιμή της θερμοκρασίας να είναι μέσα σε κάποια όρια. Έτσι η μέτρηση της θερμοκρασίας ήταν μία από τις κυριότερες εφαρμογές της μετρολογίας. Σχεδιάστηκαν ένα πλήθος από αισθητήρια, που μετατρέπουν την θερμοκρασία σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν διάφορα υλικά, καθώς η θερμοκρασία τους αλλάζει.

Αφού γίνει η μετατροπή αυτή, γίνεται η επεξεργασία του σήματος που προκύπτει, ώστε να οδηγηθούμε σε αυτό που ονομάζουμε μέτρηση.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας από μόνη της δεν μπορεί να μας δώσει ουσιαστική βοήθεια, αν δεν συνοδεύεται από ένα κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα αυτό ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί ένα σύστημα θέρμανσης ή ψύξης, ώστε η θερμοκρασία ενός αντικειμένου ή ενός χώρου να έχει μια επιθυμητή τιμή.



Σχήμα 2.2.1 διάγραμμα βαθμίδων κυκλώματος ελέγχου θερμοκρασίας

Σχηματικά οι λειτουργίες αυτές περιγράφονται στο σχήμα 2.2.1

Στα επόμενα κεφάλαια θα εξετάσουμε κατ' αρχήν τα διάφορα αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση θερμοκρασίας. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην αρχή λειτουργίας και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός, ώστε να είναι δυνατόν κάποιος να επιλέγει το κατάλληλο αισθητήριο για κάθε εφαρμογή.

Παράλληλα σε κάθε τύπο αισθητηρίου θα εξετάζουμε και την εφαρμογή του σε ένα βασικό κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας. Όπως θα δούμε το κύκλωμα ελέγχου αλλάζει ανάλογα με το αισθητήριο που χρησιμοποιούμε. Ανάλογα με την εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή αισθητηρίου-κυκλώματος ελέγχου.

Ο πίνακας 2.2.2 συνοψίζει τη δυσκολία μέτρησης για διάφορες περιπτώσεις.

Απαίτηση σε ακρίβεια

| Θερμοκρασία | $\pm 5^{\circ}\text{C}$ | $\pm 1\text{C}$ | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ | $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ |
|--------------------|---|-----------------------------------|---|---|
| -200°C | Απαιτείται προσοχή | Δύσκολα | Δύσκολα | Πολύ Δύσκολα |
| -0 °C-50 °C | Εύκολα | Απαιτείται προσοχή | Δύσκολα | Πολύ Δύσκολα |
| 1000°C | Απαιτείται προσοχή | Πολύ Δύσκολα | Εξαιρετικά Δύσκολα | Σχεδόν Αδύνατον |
| 2000 °C | Πολύ Δύσκολα | Εξαιρετικά Δύσκολα | Σχεδόν Αδύνατον | Αποκλείεται |

Πίνακας 2.2.2

Αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου επαφής είναι εποπτικά οι εξής:

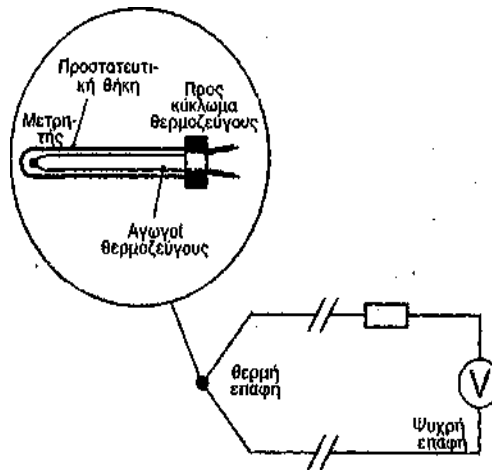
- * Θερμοζεύγη (thermocouples),
- * Θερμόμετρα με υγρό ή αέριο (filled system thermometers),
- * Διμεταλλικά θερμόμετρα,
- * Ηλεκτρονικά θερμόμετρα,
- * Θερμίστορ (thermistors).

3.Κλασικοί αισθητήρες θερμοκρασίας (τύπου επαφής)

3.1 Θερμοζεύγη

Η κατασκευή τους γίνεται με τη σύνδεση δύο διαφορετικών μετάλλων ηλεκτρικά συνδεδεμένων στη μια άκρη , που αποτελεί την επαφή μέτρησης ή «Θερμή επαφή». Οι άλλες δύο άκρες παρότι δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες , πρέπει να διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία . Αυτή η ισόθερμη σύνδεση ονομάζεται επαφή αναφοράς ή «Ψυχρή επαφή». Επειδή η έξοδος του θερμοζεύγους είναι συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επαφής μέτρησης και της επαφής αναφοράς (Φαινόμενο Seebeck) , είναι αναγκαίο να θέσουμε την επαφή αναφοράς σε μια δεδομένη θερμοκρασία (συνήθως στη θερμοκρασία πήξης $0,00^{\circ}C$) . Η απαίτηση της ύπαρξης αυτής της θερμοκρασίας αναφοράς είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα , ιδίως όταν απαιτείται ακρίβεια στη μέτρηση . Ακριβώς γι' αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί ολοκληρωμένα για την ηλεκτρική αντιστάθμιση της ψυχρής επαφής .

Τα θερμοζεύγη έχουν μια αρκετά μη γραμμική σχέση τάσης εξόδου και θερμοκρασίας . Για αυτό απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές για την αντιστάθμιση αυτής της μη γραμμικότητας. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των κυριότερων τύπων θερμοζευγών .



Σχήμα 3.1 Τυπική μορφή θερμοζεύγους

Τα θερμοζεύγη (thermocouples) είναι κατάλληλα για μέτρηση θερμοκρασιών πάνω στη γραμμή παραγωγής ή επεξεργασίας γιατί είναι:

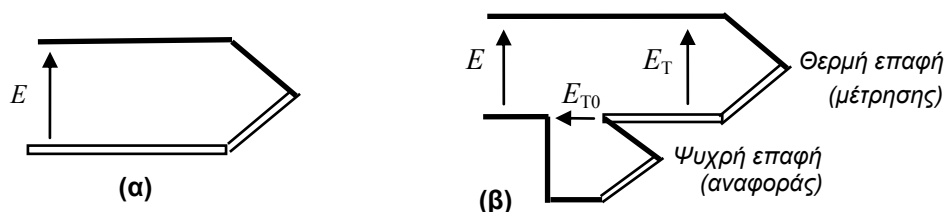
- μικρά (εύχρηστα),
- οικονομικά,
- ακριβή και
- αξιόπιστα.

Τα θερμοζεύγη υπόκεινται σε διάβρωση και οξείδωση. Η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας, το περιβάλλον λειτουργίας και τη διάμετρο των καλωδίων τους και από τον τύπο του θερμοστοιχείου. Τα θερμοζεύγη με ευγενή μέταλλα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Για τα άλλα θερμοζεύγη η διάρκεια ζωής τους είναι μερικές χιλιάδες ώρες για θερμοκρασίες λειτουργίας κοντά στο ανώτερο σημείο της περιοχής μέτρησης τους

3.1.1 Αρχές λειτουργίας

Η λειτουργία των θερμοζευγών στηρίζεται στο φαινόμενο του *θερμοηλεκτρισμού* (*thermoelectricity*), ή αλλιώς *φαινόμενο Seebeck* (*Seebeck effect*). Ειδικότερα, όταν δύο διαφορετικά μέταλλα ενώνονται σε ένα σημείο, τότε στο σημείο αυτό αναπτύσσεται μία τάση, η οποία λέγεται *θερμοηλεκτρική τάση* ή *δυναμικό επαφής* (*contact potential*) και οφείλεται στο διαφορετικό έργο εξόδου των μετάλλων. Έτσι, ανάμεσα στα ελεύθερα άκρα των συνδεδεμένων μεταλλικών συρμάτων [βλέπε Σχήμα 3.2(α)] αναπτύσσεται μία τάση E . Η τάση αυτή όμως εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Έτσι, εάν τα δύο μεταλλικά σύρματα ενωθούν σε δύο σημεία που ευρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, θα δημιουργηθούν δύο θερμοηλεκτρικές τάσεις διαφορετικής τιμής. Η διαφορά των δύο τιμών είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο σημείων.

Η δομή ενός θερμοζεύγους εικονίζεται στο Σχήμα 3.2(β). Παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο σημεία επαφής: Το άνω σημείο, που ονομάζεται *θερμή επαφή* (*hot junction*), τοποθετείται στο αντικείμενο, του οποίου τη θερμοκρασία T θέλουμε να μετρήσουμε, και αναπτύσσεται σε αυτό μία θερμοηλεκτρική τάση E_T . Το άλλο σημείο (η κάτω επαφή του σχήματος) ονομάζεται *επαφή αναφοράς* (*reference junction*) ή *ψυχρή επαφή* (*cold junction*) και τοποθετείται σε ένα χώρο σταθερής θερμοκρασίας (π.χ. σε θερμοκρασία περιβάλλοντος T_0). Στα άκρα του αναπτύσσεται μία θερμοηλεκτρική τάση E_{T_0} . Λόγω της τοποθέτησης των μεταλλικών συρμάτων, οι τάσεις E_T και E_{T_0} έχουν αντίθετη πολικότητα, και έτσι στα άκρα του θερμοζεύγους αναπτύσσεται η διαφορά τους, $E = E_T - E_{T_0}$.

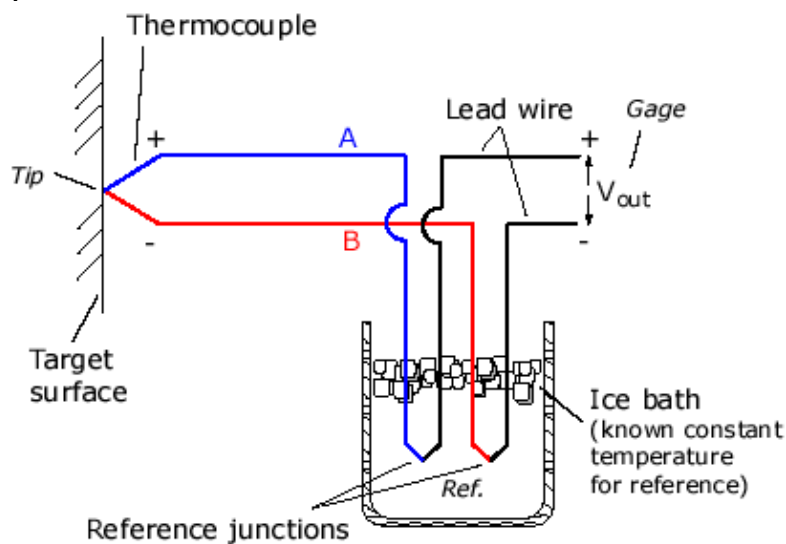


Σχήμα 3.2 (α) Εμφάνιση θερμοηλεκτρικής τάσης όταν δύο μέταλλα ενώνονται. (β) Δομή ενός θερμοζεύγους. Διακρίνονται η θερμή επαφή και η ψυχρή επαφή και σημειώνονται οι τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτό.

Η θερμοηλεκτρική τάση E δεν είναι ευθέως ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας ($T - T_0$) αλλά σε συγκεκριμένες, στενές περιοχές θερμοκρασιών T μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα ότι είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Συνήθως ανατρέχουμε σε πίνακες, οι οποίοι αναγράφουν τη διαφορά τάσης E που αντιστοιχεί σε ποικίλες διαφορές θερμοκρασίας ($T - T_0$) για ποικίλες θερμοκρασίες αναφοράς T_0 .

3.1.2 Τρόπος σύνδεσης Θερμοζευγών

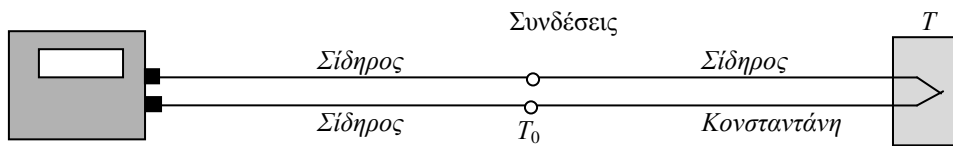
Παρακάτω παρουσιάζεται ο ορθότερος τρόπος για τη σύνδεση θερμοζευγών σε κύκλωμα μέτρησης. Η ένωση των μετάλλων του θερμοζεύγους με το όργανο μέτρησης δημιουργεί μία ή δύο επιπλέον θερμοηλεκτρικές επαφές (επαφές αναφοράς). Καταρχήν πρέπει να εξασφαλιστεί η τοποθέτηση της επαφής αναφοράς σε μία γνωστή, σταθερή θερμοκρασία T_0 , καθώς το σήμα στην έξοδο του θερμοζεύγους εξαρτάται όχι μόνον από τη μετρούμενη θερμοκρασία αλλά και από τη θερμοκρασία αναφοράς. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι η τοποθέτηση της επαφής αναφοράς σε λουτρό πάγου, οπότε η σταθερή θερμοκρασία είναι $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα. 3.3). Άλλος τρόπος μπορεί να είναι ένα κυτίο σταθερής θερμοκρασίας (zone-box), το οποίο βρίσκεται συνήθως στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος $\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$,



Σχήμα 3.3. Σύνδεση θερμοζευγών, με τη βοήθεια επαφών αναφοράς, που παραμένουν σε σταθερή θερμοκρασία μέσα σε λουτρό πάγου.

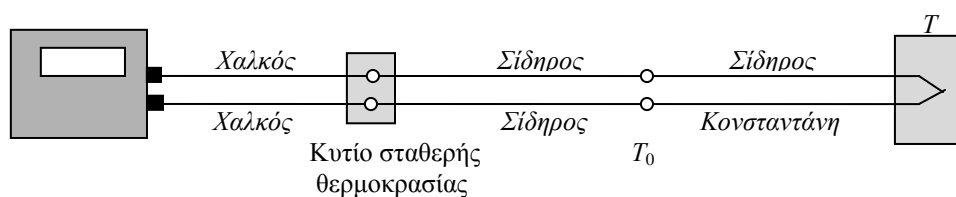
Τα σήματα των θερμοζευγών μπορούν να αναγινώσκονται από ένα βολτόμετρο και η θερμοκρασία να προσδιορίζεται από τον πίνακα αναφοράς, αλλά μπορούν και να διαβιβαστούν στον Η/Υ για επεξεργασία και προσδιορισμό της θερμοκρασίας μέσω λογισμικού.

Το απλούστερο δυνατό κύκλωμα θερμοζεύγους εικονίζεται στο Σχήμα 3.4. Για τη μελέτη μας χρησιμοποιούμε ένα θερμοζεύγος σιδήρου-κονσταντάνης. Παρατηρούμε ότι έχουμε αποφύγει τη σύνδεση των καλωδίων με ένα τρίτο μέταλλο, όπως π.χ. χαλκό, επειδή γνωρίζουμε ότι σε κάθε σημείο σύνδεσης αναπτύσσεται μία θερμοηλεκτρική τάση, και έτσι διαβιβάζουμε το σήμα στον Η/Υ μέσω καλωδίου σιδήρου. Στη σύνδεση σιδήρου-σιδήρου δεν αναπτύσσεται θερμοηλεκτρική τάση και έτσι η τελική τάση E που φθάνει στο όργανο ισούται με $E_T - E_{T_0}$.



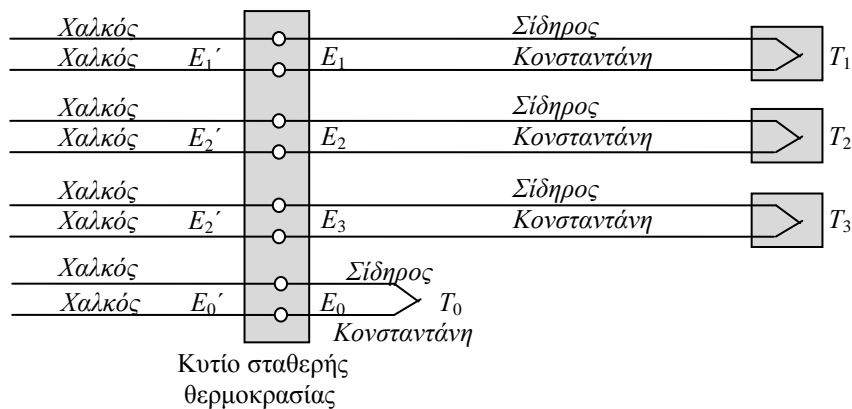
Σχήμα 3.4 Το απλούστερο δυνατό κύκλωμα θερμοζεύγους, στο οποίο αποφεύγεται η χρήση καλωδίου από τρίτο υλικό για την οδήγηση του σήματος στο βολτόμετρο ή Η/Υ

Εάν η χρήση χάλκινων καλωδίων είναι αναπόφευκτη, προσέχουμε να κάνουμε δύο συνδέσεις σιδήρου-χαλκού και όχι μία σιδήρου-χαλκού και μία κονσταντάνης-χαλκού, επειδή στη δεύτερη περίπτωση οι θερμοηλεκτρικές τάσεις στις δύο επαφές θα είναι διαφορετικές και δε θα αλληλοαναιρούνται. Το κύκλωμα έχει τη μορφή του Σχήματος 3.5. Οι δύο συνδέσεις χαλκού σιδήρου προκαλούν θερμοηλεκτρικές τάσεις αντίθετης πολικότητας. Για να αναιρεθούν πλήρως αυτές μεταξύ τους πρέπει να ευρίσκονται ακριβώς στην ίδια θερμοκρασία, και γι' αυτό τις τοποθετούμε μέσα σε ένα *κυτίο σταθερής θερμοκρασίας* (*zone box*). Το κυτίο αυτό δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ένας *σταθεροποιητής θερμοκρασίας* (*temperature stabilizer*), καθώς δε διατηρεί τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του *σταθερή*, αλλά *ομοιόμορφη*, ίδια για τις δύο συνδέσεις που περιέχει. Εν γένει τα κυτία αυτά τοποθετούνται μακριά από πηγές θερμότητας και ηλιακό φως, ώστε η θερμοκρασία τους να μη μεταβάλλεται με το χρόνο.



Σχήμα 3.5 Κύκλωμα θερμοζεύγους, στο οποίο χρησιμοποιείται καλώδιο από τρίτο υλικό για την οδήγηση του σήματος σε βολτόμετρο ή Η/Υ

Σε μία αυτοματοποιημένη διάταξη όλα τα θερμοζεύγη συνδέονται στα κανάλια ενός μετατροπέα A/D, οπότε οι ενδείξεις τους εισάγονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε ψηφιακή μορφή μέσα στον Η/Υ και εκεί τυγχάνουν επεξεργασίας. Παραμένοντας στο παράδειγμα με το θερμοζεύγος σιδήρου-κωνσταντάνης, διαπιστώνουμε ότι η καλωδίωση εδώ είναι απλούστερη, καθώς δεν είναι αναγκαίο το καλώδιο κωνσταντάνης του κάθε θερμοζεύγους να συνδεθεί με καλώδιο σιδήρου, ώστε κάθε θερμοζεύγος να έχει δύο επαφές σιδήρου-κωνσταντάνης. Αντίθετα, τα διάφορα θερμοζεύγη μπορούν να έχουν μία μόνον επαφή και η θερμοκρασία αναφοράς να λαμβάνεται από ένα επιπλέον, ξεχωριστό θερμοζεύγος. Η σύνδεση αυτή εικονίζεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Σύνδεση πολλών θερμοζευγών με μία κοινή επαφή αναφοράς

3.1.3 Είδη θερμοζευγών

Τα θερμοζεύγη κατασκευάζονται από επιλεγμένα μέταλλα ή κράματα μετάλλων, τα οποία αναπτύσσουν όχι υψηλή απόλυτη τιμή θερμοηλεκτρικής τάσης αλλά θερμοηλεκτρική τάση που μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία. Ονομάζονται από τα ονόματα των δύο μετάλλων ή κραμάτων, και αναφέρεται πρώτο το μέταλλο που γίνεται θετικότερο (και άρα αποτελεί το θετικό πόλο της θερμοηλεκτρικής τάσης). Το καλώδιο που καλύπτει το αρνητικό μέταλλο έχει πάντοτε κόκκινο χρώμα.

1. Σιδήρου - Κονσταντάνης (*iron-constantan*) ή Τύπου J

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα λευκό και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Το καλώδιο σιδήρου είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης (η κονσταντάνη είναι κράμα χαλκού/νικελίου).



Σχημα 3.7 θερμοζεύγος τύπου J

2. Νικελίου/Χρωμίου - Νικελίου/Αλουμινίου (*chromel-alumel*) ή Τύπου K

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα κίτρινο και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Το καλώδιο από το κράμα *alumel* (νικε-λίου/αλουμινίου) είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση και απαιτούνται ειδικά μέσα συγκόλλησης (άργυρος, ρέοντα υγρά).

Το θερμοζεύγος αυτό δημιουργεί ηλεκτρικά σήματα όταν τα καλώδιά του κάμπτονται και έτσι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε δονούμενα συστήματα, εκτός και αν χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα αντιστάθμισης της μηχανικής τάσης.



Σχήμα 3.8 Θερμοζεύγος τύπου K

3. Χαλκού - Κωνσταντάνης (copper-constantan) ή Τύπου T

Οι ακροδέκτες έχουν χρώματα μπλε και κόκκινο. Αναπτύσσει θερμοηλεκτρική τάση περίπου $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Κανένα καλώδιο δεν είναι μαγνητικό. Οι επαφές γίνονται με συγκόλληση ή ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιώντας συνηθισμένα μέσα συγκόλλησης. Το θερμοζεύγος αυτό εμφανίζει σφάλματα στην αγωγή του ρεύματος επειδή ο χαλκός έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται, εκτός εάν μεγάλα μήκη καλωδίου (100 έως 200 φορές η διάμετρος) τίθενται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας



Σχήμα 3.9 :Χαλκός και constantan

4. Τύπου E-Νικέλιο και constantan

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κενό καθώς και σε ελαφρά οξειδωτικό περιβάλλον. Έχει υψηλή απόδοση, περίπου $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, πράγμα το οποίο το καθιστά κατάλληλο για κρυογενική χρήση. Είναι μη μαγνητικό και συνιστάται για χρήση έως 870°C .



Σχήμα 3.10 : Θερμοζεύγος τύπου E

5. Τύπου B- Λευκόχρυσος, Ρόδιο

Κατάλληλο για μετρήσεις υψηλής θερμοκρασίας έως περίπου 1800°C . Ο συγκεκριμένος τύπος δίνει την ίδια απόδοση σε 0°C και 42°C πράγμα που τα καθιστά άχρηστα για μετρήσεις κάτω από 50°C . Έχει ευαισθησία περίπου $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ στους 300°C .

6. Τύπου N-Νικέλιο, χρώμιο και κράμα πυριτίου.

Υψηλή σταθερότητα, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και οξείδωση κάνει το θερμοζεύγος τύπου N αισθητήρα κατάλληλο και για μετρήσεις υψηλής θερμοκρασίας, χωρίς να έχει το κόστος της πλατίνας στους τύπους B, R, S. Μπορούν να αντέξουν θερμοκρασίες πάνω από $\sim 1200^\circ\text{C}$. Έχει ευαισθησία περίπου $38 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ στους 900°C .

7.Τύπου C-Βολφράμιο,Ρένιο.

Ιδανικό για εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 2316 ° C. Αυτό το θερμοστοιχείο είναι κατάλληλο για φούρνους σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες

8.Τύπου R-Λευκόχρυσος,Ρόδιο

Καλό για υψηλές θερμοκρασίες έως ~ 1600 ° C. Έχει χαμηλή ευαισθησία περίπου 10 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ και υψηλό κόστος, πράγμα που το καθιστά ακατάλληλο για γενική χρήση.

9.Τύπου S-Λευκόχρυσος,Ρόδιο

Καλό για υψηλές θερμοκρασίες έως 1600 °C. Έχει χαμηλή ευαισθησία περίπου 10 $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ και υψηλό κόστος, πράγμα που το καθιστά ακατάλληλο για γενική χρήση όπως και το παραπάνω θερμοζεύγος. Όμως λόγω της υψηλής σταθερότητας της, το θερμοζεύγος τύπου S χρησιμοποιείται ως πρότυπο αναφοράς για το σημείο τήξης του χρυσού (1.064,43 °C).

10.Τύπου M

Τα θερμοστοιχεία τύπου M χρησιμοποιούν ένα κράμα νικελίου για κάθε σύρμα. Το πρώτο σύρμα περιέχει 18% μολυβδαίνιο, ενώ το άλλο περιέχει 0,8% κοβάλτιο. Αυτά τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται στους φούρνους κενού για τους ίδιους λόγους με τον τύπο C. Γενικότερα, σε σχέση με τους άλλους τύπους θερμοστοιχείων χρησιμοποιείται λιγότερο. Η υψηλότερη θερμοκρασία περιορίζεται στους 1400 °C.

11.Χρώμελ-Χρυσος,Σίδηρος

Στα θερμοστοιχεία χρώμελ - χρυσού/σιδήρου, το ένα σύρμα είναι

χρώμελ ενώ το άλλο είναι χρυσός με ένα μικρό κλάσμα (0,03-0,15 τοις εκατό) από σίδηρο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κρυογονικές εφαρμογές (1.2-300 K και ακόμα μέχρι 600 K). Τόσο η ευαισθησία όσο και το εύρος της θερμοκρασίας εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του σιδήρου. Η ευαισθησία είναι συνήθως γύρω στα 15 $\mu\text{V}/\text{K}$ σε χαμηλές θερμοκρασίες και η χαμηλότερη μετρήσιμη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 4,2 K.

Οι κυριότεροι τύπου θερμοζευγών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί : Τα θερμοζεύγη έχουν μεγάλη περιοχή μέτρησης πράγμα που είναι σημαντικό πλεονέκτημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η γρήγορη απόκριση τους, η οποία μπορεί να είναι της τάξεως των msec. Υπάρχουν και θερμοζεύγη από κράματα Βολφραμίου τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 2500°.

| Τύπος | Υλικό κατασκευής | Περιοχή λειτουργίας (σε °C) | Ακρίβεια | Παρατηρήσεις |
|-------|------------------|-----------------------------|---------------------|--|
| E | Cr/Con | -200 έως 900 | ± 1.5 °C ή 0.5% | Υψηλή ΗΕΔ (56mV στους 750°C) |
| J | Fe/Con | 0 έως 750 | ± 3 °C ή 0.75% | Φθηνό Μέτρια ΗΕΔ (42mV στους 750°C) |
| K | Cr/Al | -200 έως 1260 | ± 3 °C ή 0.75% | Σταθερό, Μεγάλη γραμμικότητα Χαμηλή ΗΕΔ (30mV στους 750°C) |
| R | Rt/Rh & Pt | 0 έως 1400 | ± 2 °C ή 0.3% | Πολύ σταθερό Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (7mV στους 750°C) |
| S | Rt/Rh & Pt | 0 έως 1400 | ± 2 °C ή 0.3% | Πολύ σταθερό Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (6.6mV στους 750°C) Οξειδώνεται στις υψηλές θερμοκρασίες |
| T | Cu/Con | -250 έως 400 | ± 2 °C ή 0.75% | Μέτρια ΗΕΔ (20mV στους 400°C) |
| B | Pt/Rh | 0 έως 1700 | ± 3 °C ή 0.3% | Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (8.4mV στους 1000°C) |

Τα θερμοζεύγη υπόκεινται σε διάβρωση και οξείδωση. Η διάρκεια ζωής

Θέμα: Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές αισθητήρων θερμοκρασίας

τους εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας, το περιβάλλον λειτουργίας και τη διάμετρο των καλωδίων τους και από τον τύπο του θερμοστοιχείου. Τα θερμοζεύγη με ευγενή μέταλλα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Για τα άλλα θερμοζεύγη η διάρκεια ζωής τους είναι μερικές χιλιάδες ώρες για θερμοκρασίες λειτουργίας κοντά στο ανώτερο σημείο της περιοχής μέτρησης τους.

3.1.4 Εφαρμογές θερμοζευγών

Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που εκτείνονται από βιομηχανικές και επιστημονικές έως ιατρικές. Έτσι, χρησιμοποιούνται σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως σε κλιβάνους, θαλάμους ψύξης, πυρηνικούς αντιδραστήρες αλλά και εγχειρήσεις για την παρακολούθηση της εσωτερικής θερμοκρασίας οργάνων. Αυτό συμβαίνει επειδή το θερμοζεύγος συνίσταται στην ουσία σε μία επαφή δύο μετάλλων, που μπορεί να λάβει μικροσκοπικές διαστάσεις και να κατευθυνθεί με τη βοήθεια δύο ευλύγιστων καλωδίων σε οποιοδήποτε σημείο μας ενδιαφέρει. Γι' αυτό αποτελούν μία από τις πρώτες επιλογές για τη μέτρηση θερμοκρασιών.

Παραδείγματα χρήσεις των θερμοζευγών μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Στις χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες(δεν αυτοθερμαίνονται).
- Στην αυτοκινητοβιομηχανία (ανθεκτικά σε κρούσεις και κραδασμούς)
- Στις βιομηχανίες τροφίμων
- Οικιακές χρήσεις κ.λ.π

3.1.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα θερμοζευγών

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα θερμοζεύγη είναι κυρίως η ικανοποιητική ακρίβεια, η δυνατότητα χρήσης τους για μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, η εύκολη τοποθέτηση τους καθώς και το χαμηλό κόστος τους. Επίσης δεν απαιτούν τροφοδοσία και παράγουν απ' ευθείας τάση, ιδιότητα χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές. Η χρονική σταθερά τους είναι μικρή, συνήθως 0.1-3 δευτερόλεπτα. Το κύριο μειονέκτημα των θερμοζευγών είναι η πολύ χαμηλή έξοδος, της τάξης των $40 \mu\text{V } ^\circ\text{C}^{-1}$ και η ανάγκη για βαθμονόμηση.

3.1.6 Παραδείγματα θερμοζευγών

Μοντέλο 905-T2 :Θερμόμετρο επιφάνειας



Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Τύπος μπαταρίας: 3 μπαταρίες τύπου AAA

Διάρκεια ζωής: 1 000h

Βαρος: 80g

Διαστάσεις: 230 x 37 x 36 cm

Τύπος αισθητήρα: θερμοζεύγος τύπου K

Κλίμακα μέτρησης: -50 έως +350°C

Ακρίβεια: $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ανάλυση : $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$

3.2 Αισθητήρια θερμοκρασίας με αντίσταση

3.2.1 Γενικά

Οι RTD δημιουργούνται από αντιστάτες σύρματος , σε μορφή σπειρώματος , που παρουσιάζουν θετικό θερμικό συντελεστή (α) . Ως γνωστό η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού αυξάνεται με τη θερμοκρασία με μια γραμμική κατά προσέγγιση σχέση : $\Delta R = [1 + \alpha \cdot \Delta t]$. Στη πράξη η Πλατίνα είναι αυτή που χρησιμοποιείται από τα μέταλλα , γιατί παρουσιάζει σχεδόν γραμμική συμπεριφορά , και έχει καλά μηχανικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά . Έτσι κατασκευάζονται ανιχνευτές πλατίνας με εύρος από $-270^{\circ}C$ μέχρι και $660^{\circ}C$, μεγάλη σταθερότητα , υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία . Το αισθητήριο στοιχείο ενός τέτοιου ανιχνευτή αποτελείται συνήθως από ένα ορισμένου μήκους σύρμα πλατίνας , αντίστασης 100Ω , τυλιγμένο σε κεραμικό υλικό και τοποθετημένο σε κάψουλα .

Ο πίνακας 3.11 δείχνει την αντίσταση ενός RTD πλατίνας 100Ω όπως αυτή μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία . Η μεταβολή αυτή της αντίστασης μπορεί να μετρηθεί από ένα βολτόμετρο σαν τη πτώση τάσης που προκαλείται στο RTD από τη ροή ρεύματος μέσω μιας σταθερής πηγής ρεύματος . Όταν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια το RTD τοποθετείται ώστε να αποτελεί τμήμα μιας γέφυρας Wheatstone .

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των RTD είναι η μεγάλη σταθερότητά τους , η υψηλή ακρίβεια και η σχεδόν γραμμική χαρακτηριστική τους . Λόγω της κατασκευής τους έχουν αργή απόκριση , είναι ευαίσθητα στους κραδασμούς και έχουν σχετικά μεγάλο κόστος

| Θερμοκρασία (°C) | Αντίσταση Ω |
|------------------|-------------|
| -200 | 18,53 |
| -100 | 60,20 |
| 0 | 100,00 |
| +100 | 138,50 |
| +200 | 175,84 |
| +300 | 212,03 |
| +400 | 247,06 |
| +500 | 280,93 |
| +600 | 313,65 |
| +700 | 345,61 |
| +800 | 375,67 |

Πίνακας 3.11: Απόκριση RTD Πλατίνας

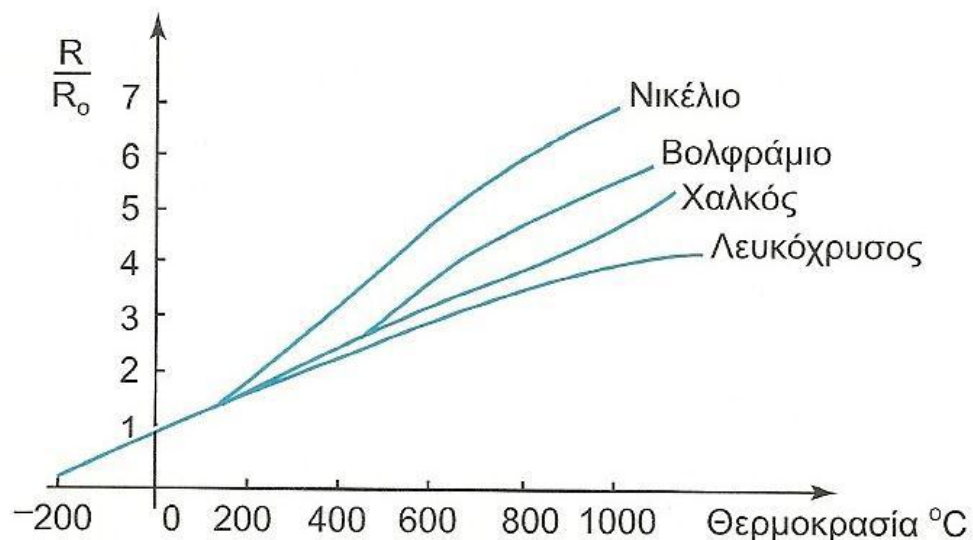
Οι αντιστάτες λευκόχρυσου (Platinum Resistance Thermometers ή PRT's), είναι ίσως οι καλύτεροι αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου αντίστασης. Σε διάφορες μορφές τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις θερμοκρασίας από -250 °C έως 1200 °C (με την περιοχή λειτουργίας να καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της), με υψηλή ακρίβεια.

Ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιείται σε διάφορες περιοχές θερμοκρασιών χωρίς να εμφανίζει φαινόμενα υστέρησης. Τα χαρακτηριστικά του παραμένουν ιδιαίτερα σταθερά, ακόμη και μετά από πολλούς κύκλους χρήσης. Υπάρχουν διάφορες μορφές PRT's, ξεκινώντας από τον πρότυπο αισθητήρα της Διεθνούς Θερμομετρικής Κλίμακας, μέχρι PRT's βιομηχανικών εφαρμογών, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί και με ακρίβεια της τάξης του δεκάτου του βαθμού. Το χαμηλό κόστος καθώς και η πολύ καλή ακρίβεια των PRT's τους έχει κάνει τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας. Σε εφαρμογές δε υψηλών απαιτήσεων ακριβείας, χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα. Οι αντιστάτες λευκόχρυσου, σε αντίθεση με τα θερμοζεύγη, για να λειτουργήσουν απαιτούν εξωτερική διέγερση. Η διέγερση αυτή μπορεί να είναι είτε ρεύμα είτε

τάση, η μέτρηση των οποίων οδηγεί στον υπολογισμό της τιμής της ηλεκτρικής τους αντίστασης και, μέσω μιας διαδικασίας βαθμονόμησης, στη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό πρέπει για τον υπολογισμό της ακρίβειας μιας μέτρησης θερμοκρασίας, να παίρνουμε υπόψη μας, εκτός από τις αβεβαιότητες του ίδιου του αισθητήρα και τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα όργανα μέτρησης της αντίστασης. Στο σημείο αυτό, ας εξετάσουμε για ποιο λόγο η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία περιγράφεται κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$R(X) = R(0^{\circ}\text{C}) (1 + \alpha T) \quad (1.2)$$

όπου α ο θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης (για το λευκόχρυσο είναι: $\alpha = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) και T η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$). Στο σχήμα 3.12 παρουσιάζεται η μεταβολή του λόγου $R(T) / R(0^{\circ}\text{C})$, σε συνάρτηση της θερμοκρασίας για νικέλιο, χαλκό, λευκόχρυσο και βολφράμιο.



Σχήμα 3.12 Η μεταβολή της ωμικής αντίστασης του: Νικελίου, χαλκού και λευκόχρυσου συναρτήσει της θερμοκρασίας

Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε την πολύ καλή γραμμικότητα στη μεταβολή της αντίστασης του λευκόχρυσου, γεγονός που ερμηνεύει, μεταξύ άλλων, την καταλληλότητα του μετάλλου αυτού στη θερμομετρία. Η μη γραμμική συμπεριφορά των άλλων δύο μετάλλων - περισσότερο του Ni και λιγότερο του Cu, ερμηνεύεται κυρίως από την ύπαρξη προσμίξεων και τις ατέλειες του πλέγματος τους. Εκτός από τη γραμμική συμπεριφορά, για να μπορεί ένα μέταλλο να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας θερμοκρασίας πρέπει να έχει και άλλες ιδιότητες, όπως αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, να είναι χημικώς αδρανές και να μπορεί να βρεθεί εύκολα σε χημικώς καθαρή μορφή. Ο λευκόχρυσος ικανοποιεί το σύνολο των απαιτήσεων αυτών.

Η εξ. (1.2) ισχύει γενικά για τα περισσότερα μέταλλα. Ειδικά για τις αντιστάσεις πλατίνας, χρησιμοποιείται η ακριβέστερη σχέση Callendar - van Dusen:

$$R(T) = R(0^{\circ}\text{C}) (1 + A T + B T^2 + C (T - 100) T^3) \quad (1.3)$$

Ο συντελεστής C λαμβάνει την τιμή 0 για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 0°C . Τυπικές τιμές των συντελεστών αυτών είναι (πρότυπο IEC751 (Pt100)):

$$A = 3,985 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$$

$$B = -5,85 \cdot 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$$

$$C = 4,27 \cdot 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^4$$

$$\alpha = 3,927 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1,11814$$

Για ένα βιομηχανικού τύπου PRT, οι αντίστοιχες τιμές είναι (πρότυπο SAMA RC-4):

$$A = 3,908 * 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$$

$$B = -5,80 * 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$$

$$C = 4,27 * 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^4$$

$$\alpha = 3,85 * 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1,1158.$$

Η παράμετρος α στις ανωτέρω τιμές, ονομάζεται τιμή άλφα του αισθητήρα και ορίζεται ως εξής:

$$a = \frac{R(100^{\circ}\text{C}) - R(0^{\circ}\text{C})}{100R(0^{\circ}\text{C})} (1.4)$$

Η παράμετρος αυτή προκύπτει μετρώντας την αντίσταση στο σημείο πήξεως του ύδατος (0° C) και στο σημείο βρασμού του (100°C). Υπάρχουν διάφοροι ισοδύναμοι τρόποι αναγραφής της παραμέτρου άλφα:

- 0,385 Ω/° για PRT 100Ω
- 3,85 * 10⁻³/°C
- 0,385%/°C
- 3850 ppm/°C.

Η τιμή α εξακολουθεί να χρησιμοποιείται και σήμερα ως μέτρο της καθαρότητας του λευκόχρυσου. Στη θερμομετρία όμως, επειδή το σημείο βρασμού του ύδατος δεν χρησιμοποιείται πλέον στη Διεθνή Θερμομετρική Κλίμακα, η τιμή α έχει αντικατασταθεί από την τιμή ρ (σημείωση: διαβάζεται "τιμή ρο"), η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \frac{R(29,7646^{\circ}\text{C})}{R(0^{\circ}\text{C})} (1.5)$$

Όπου 29,7446 °C ,το σημείο τήξης του γαλλίου.

Η ανοχή των αισθητήρων, που χαρακτηρίζει το αναμενόμενο σφάλμα

κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης σειράς μετρήσεων ενός οργάνου που ακολουθούν το πρότυπο IEC751, ταξινομείται σε τέσσερις κλάσεις, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα. Το σύμβολο $|t|$ υποδηλώνει την απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου

| Κλάση | Εξίσωση ανοχής ($^{\circ}\text{C}$) |
|-------|---------------------------------------|
| A | $\pm(0.15 + 0.002 \cdot t)$ |
| B | $\pm(0.30 + 0.005 \cdot t)$ |
| C | $\pm (0.40 + 0.009 \cdot t)$ |
| D | $\pm(0.60 + 0.0018 \cdot t)$ |

3.2.2 Βασικές Αρχές Λειτουργίας για τα RTDs

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη βασική αρχή λειτουργίας η οποία διέπει τα RTDs είναι ότι η αντίσταση στα περισσότερα μέταλλα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ένα ιδανικό μέταλλο ή κράμα μετάλλων το οποίο θα ήταν ιδανικό για την κατασκευή ενός RTD θα ικανοποιούσε τις ακόλουθες συνθήκες.

1. Πολύ μεγάλη ειδική αντίσταση η οποία θα μειώνει στο ελάχιστο το ποσό του καλωδίου που θα απαιτείται για να παραχθεί υψηλή αντίσταση. Η ειδική αντίσταση ορίζεται σαν την αναλογία του μεγέθους της αντίστασης ανά μονάδα μήκους.
2. Η αλλαγή της ειδικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία να είναι υπεραρκετή έτσι ώστε να παρέχει την επιθυμητή ανάλυση της μέτρησης.
3. Η αλλαγή της ειδικής αντίστασης να είναι γραμμική έτσι ώστε να απλοποιείται η μετατροπή στην αντίστοιχη θερμοκρασία.

3.2.3 Κατηγοριοποίηση RTDs ως προς το υλικό

A) Αισθητήρια θερμοκρασίας από λευκόχρυσο (PTs)

Ο λευκόχρυσος είναι το τυποποιημένο υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στα αισθητήρια θερμοκρασίας (PTs) όχι επειδή έχει έναν ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή της ειδικής αντίστασης, αλλά λόγω της σταθερότητάς του στη χρήση. Στην πραγματικότητα, ένας υψηλός συντελεστής ειδικής αντίστασης δεν είναι τόσο απαραίτητος για ένα PT δεδομένου ότι οι τιμές αντίστασης μπορούν να καθοριστούν με έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξοπλισμό και παίρνοντας τις επαρκείς προφυλάξεις για την αποφυγή σφαλμάτων.

Ο λευκόχρυσος, που έχει τον υψηλότερο πιθανό συντελεστή της ειδικής αντίστασης, θεωρείται καλύτερο υλικό για την κατασκευή των αισθητηρίων θερμοκρασίας. Μια υψηλή τιμή αυτού του συντελεστή είναι μια ένδειξη ότι ο λευκόχρυσος είναι υψηλής καθαρότητας άρα χαμηλής περιεκτικότητας σε ξένες προσμίξεις. Η παρουσία προσμείξεων στα PTs είναι ανεπιθύμητη, δεδομένου ότι η διάχυση, ο διαχωρισμός και η εξάτμιση είναι φαινόμενα που ευνοούνται από αυτή. Το σημαντικότερο είναι ότι μπορούν να εμφανιστούν σε τέτοιο βαθμό που θα προκαλέσουν την έλλειψη στην σταθερότητα στις μετρήσεις του αισθητηρίου. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής της ειδικής αντίστασης είναι επίσης ευαίσθητος στις εσωτερικές καταπονήσεις του υλικού.

Ο λευκόχρυσος χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την κατασκευή αισθητηρίων που έχουν μετρητική ικανότητα σε θερμοκρασίες μέχρι 800. Δεν οξειδώνει, αλλά πρέπει να προστατευθεί από τη μόλυνση. Η πιο κοινή αιτία της μόλυνσης των αισθητηρίων αντίστασης λευκόχρυσου είναι επαφή με το διοξείδιο του πυρίτιο, ή πυρίμαχες ύλες που έχουν προσμείξεις διοξειδίου του πυρίτιο. Το διοξείδιο του πυρίτιο με τα στοιχεία της ατμόσφαιρας σαν καταλύτη μετατρέπεται σε απλό πυρίτιο που αλλοιώνει την δομή του λευκόχρυσου και τον κάνει εξαιρετικά εύθραυστο. Τα PTs λευκόχρυσου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν έως και θερμοκρασίες 20 K (-253.15). C0

Για τη μέτρηση των θερμοκρασιών μεταξύ 1 K και 40 K χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρες εμπλουτισμένοι με γερμάνιο. Για θερμοκρασίες πάνω από 20 K ο λευκόχρυσος έχει πολύ αυξημένο θερμοκρασιακό συντελεστή της ειδικής του αντίστασης και σαν συνέπεια παρουσιάζει πολύ μεγάλη σταθερότητα.

Η αντίσταση των RTDs από λευκόχρυσο κυμαίνεται από μερικά ohms έως πολλά kilohms. Στην πλειοψηφία τους όμως τα RTDs από λευκόχρυσο έχουν καθιερώσει την τιμή αντίστασης των 100Ω στους . Με εξάρτηση από τον βαθμό καθαρότητας (περιεκτικότητας) του λευκόχρυσου ο συντελεστής θερμοκρασίας (α) ενός RTD από λευκόχρυσο κυμαίνεται από 0.00385Ω/Ω/°C έως 0.00392Ω/Ω/°C

B) Αισθητήρια θερμοκρασίας από νικελίου

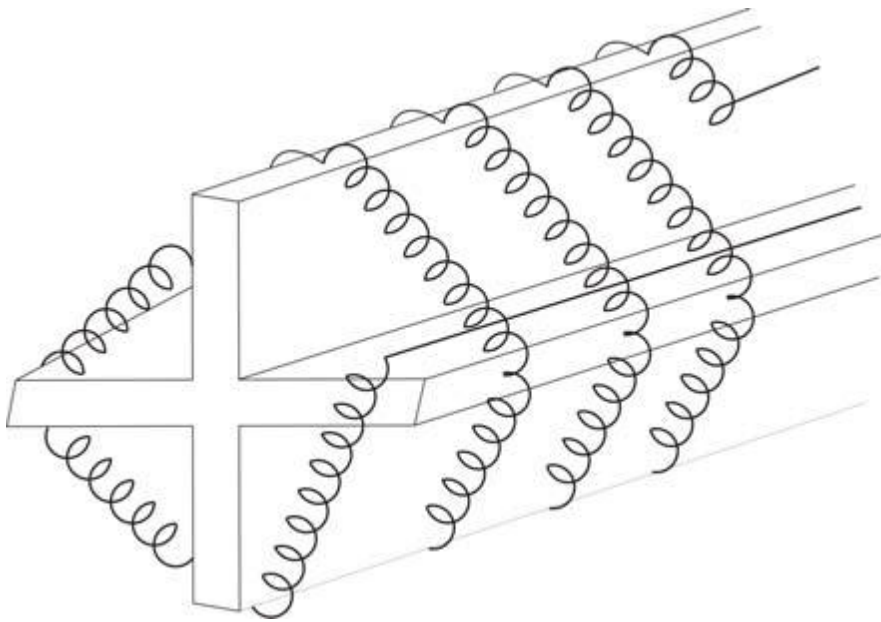
Το νικέλιο διαμορφώνει μια ανέξοδη εναλλακτική για την κατασκευή αισθητηρίων θερμοκρασίας. Το θερμοκρασιακό τους φάσμα κυμαίνεται από -200 έως +350. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής της ειδικής αντίστασης του νικελίου είναι 50 % υψηλότερος από αυτόν του λευκόχρυσου που είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε ορισμένες εφαρμογές. Τα αισθητήρια νικελίου βρίσκουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές που ασχολούνται με την μέτρηση θερμοκρασίας υγρών και σε εφαρμογές συστημάτων κλιματισμού. COCO

Το ρεύμα που διαρρέει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας πρέπει να κρατηθεί αρκετά χαμηλή τιμή έτσι ώστε να περιορίζεται το φαινόμενο της εσωτερικής θέρμανσης (self-heating) του ίδιου του αισθητηρίου. Εντούτοις σε μερικές εφαρμογές όπως σε μετρητές ροής, σε ανεμόμετρα και σε μετρητές υγρασίας της ατμόσφαιρας, το φαινόμενο της εσωτερικής θέρμανσης χρησιμοποιείται προς όφελος των μετρήσεων.

3.2.4 Γενικά κατασκευαστικά στοιχεία για τα RTDs

Οι τεχνικές για την κατασκευή ενός RTD ποικίλουν. Οι τεχνικές αυτές καθορίζουν το κόστος, την διάρκεια, την χρησιμότητα και τον τρόπο λειτουργίας του αισθητήρα.

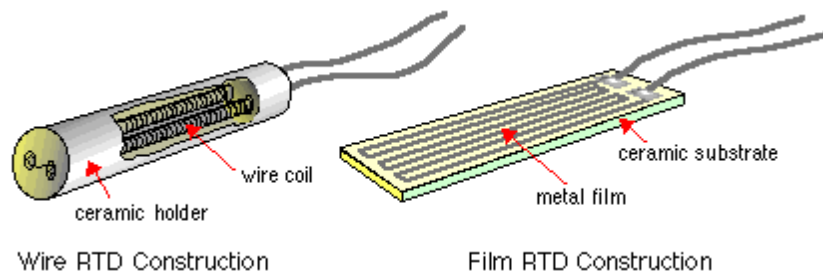
Ο κλασικός τρόπος κατασκευής ενός RTD είναι ένα σύρμα λευκόχρυσου ορισμένου μήκους που τυλίγεται σε ένα γυάλινο ή κεραμικό πυρήνα (μασούρι). Αυτό μπορούμε να το δούμε στο σχήμα 3.12. Ένας άλλος τρόπος κατασκευής ενός RTD είναι με την τοποθέτηση μιας αγώγιμης ταινίας σε ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα. Η αγώγιμη ταινία και το μη αγώγιμο υπόστρωμα τοποθετούνται σε ειδική θήκη για προστασία.



Σχήμα 3.12

3.2.5 Τύποι Αισθητήρων RTD

Τα PRT's κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές. Οι αισθητήρες γενικής χρήσης αποτελούνται από σύρμα πλατίνας. Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν αναπτυχθεί και PRT's λεπτών υμενίων, τα οποία κερδίζουν συνεχώς έδαφος σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Μορφές PRT's

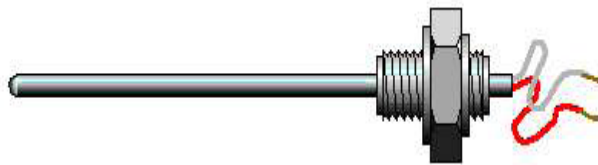
Οι αισθητήρες σύρματος αποτελούνται από ελικοειδές πολύ λεπτό σύρμα πλατίνας τοποθετημένου στο εσωτερικό κεραμικού σωληνίσκου, ώστε να προστατεύεται και να στηρίζεται. Το σύρμα μπορεί να είναι ενωμένο με το σωληνίσκο. Οι αισθητήρες σύρματος είναι κατά κανόνα ακριβέστεροι από αυτούς με λεπτό υμένιο, επειδή και η καθαρότητα του μετάλλου ελέγχεται καλύτερα και δεν αναπτύσσονται σφάλματα λόγω διάτμησης. Είναι όμως ακριβότεροι.

Οι αισθητήρες υμενίου αποτελούνται από ένα λεπτό- μεταλλικό υμένιο το οποίο εναποτίθεται σε κεραμικό ή υαλώδες υπόστρωμα. Είναι λιγότερο ακριβείς σε σχέση με τους αισθητήρες σύρματος. Είναι όμως σχετικά φθηνοί, διατίθενται σε μικρά μεγέθη και αντέχουν περισσότερο σε μηχανικές καταπονήσεις.

Οι αισθητήρες δεν μπορούν γενικά να χρησιμοποιηθούν στη βασική μορφή τους, όπως δηλαδή απεικονίζονται στο σχήμα 3.13, γιατί είναι ευαίσθητοι.

! Θέμα: Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές αισθητήρων θερμοκρασίας

Εισάγονται συνήθως σε κάποια προστατευτική διάταξη - θήκη, ώστε να μπορούν να αντέξουν στο περιβάλλον στο οποίο θα λειτουργήσουν. Συνήθως πρόκειται για κυλίνδρους από ανοξείδωτο χάλυβα, οι οποίοι γεμίζονται με ειδικό γράσο αυξημένης θερμικής αγωγιμότητας σχήμα 3.14. Ο αισθητήρας βυθίζεται μέσα στο γράσο. Η διάταξη αυτή προστατεύει τον αισθητήρα και από κραδασμούς. Οι τυποποιημένες διαμέτροι των σωλήνων αυτών είναι 3, 4.5, 6, 8, 10, 12 και 15 mm και τα τυποποιημένα μήκη 250, 300, 500, 750 και 1000 mm.



Σχήμα 3.14: Τυπική διάταξη PRT με θήκη

Κατά τη χρήση των PRT's δημιουργούνται επαφές δύο μετάλλων: της πλατίνας και των χάλκινων αγωγών μέσω των οποίων μεταφέρονται τα σήματα στη μετρητική διάταξη. Άρα, δημιουργείται κάτι σαν θερμοζεύγος. Επομένως αν κατά μήκος του συστήματος αυτού δημιουργηθεί θερμοβαθμίδα, αναπτύσσεται τάση Seebeck της τάξης των

7 μV / $^{\circ}\text{C}$. Η τιμή αυτή δεν επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων, εκτός αν πρόκειται για μετρήσεις ιδιαίτερης ακριβείας οι οποίες διεξάγονται με πολύ μικρή ένταση ρεύματος.

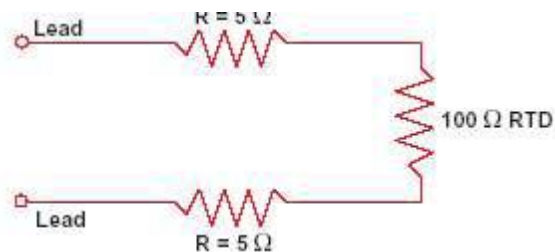
3.2.6 Μέτρηση της αντίστασης των αισθητήρων **RTD**

Η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί κυρίως με δύο τρόπους:

- Την μέτρηση της πτώσης τάσης που προκαλεί στο RTD η διέλευση γνωστού ρεύματος,
- Μέσω γέφυρας.

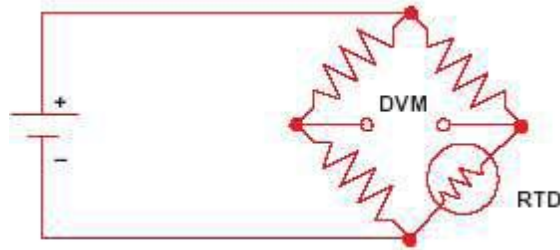
Τα RTD διατίθενται σε σχήμα κατάλληλο για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε ρευστά και σε επιφάνειες στερεών σωμάτων.

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, η παράμετρος άλφα ενός PRT 100Ω ισούται με 0,385 Ω/°C. Για να μετρήσουμε την αντίσταση ενός αισθητήρα, άρα και τη θερμοκρασία, πρέπει να τον ενώσουμε με μια κατάλληλη διάταξη. Η ένωση γίνεται με χάλκινους αγωγούς, η αντίσταση των οποίων, αναλόγως του απαιτούμενου μήκους, μπορεί να κυμαίνεται από μερικά Ω, ως μερικές δεκάδες Ω. Παρατηρώντας ότι η τιμή της παραμέτρου άλφα είναι μικρή, καταλαβαίνουμε ότι ακόμα και μια μικρή πρόσθετη αντίσταση των αγωγών, αν δεν ληφθεί υπ' όψη, μπορεί να επιφέρει σημαντικό σφάλμα στη μέτρηση. Έστω για παράδειγμα το κύκλωμα του σχήμα 3.15, με το οποίο μετράται η αντίσταση ενός PRT 100 Ω. Αν η αντίσταση καθενός από τους δύο αγωγούς ισούται με 5 Ω, η συνολική επιπλέον αντίσταση θα είναι 10 Ω. Άρα η διαφορά θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε αυτά τα 10Ω θα είναι $10 \text{ }^\circ\text{C} / 0,385 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$.

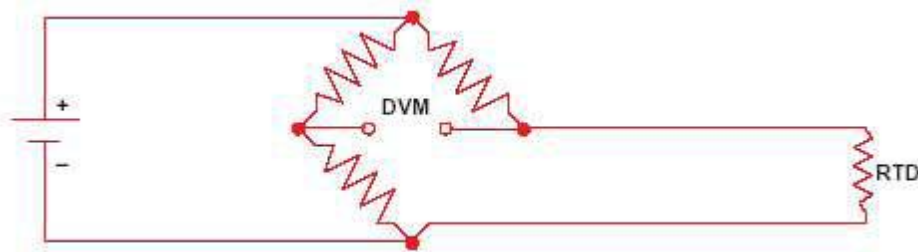


Σχήμα 3.15: Επίδραση της αντίστασης των αγωγών .

Ο κλασικός τρόπος για την αποφυγή αυτού του προβλήματος είναι η χρήση της γέφυρας Wheatstone σχήμα 3.16. Η τάση εξόδου V_{out} της γέφυρας είναι μια έμμεση μέτρηση της τιμής της ζητούμενης αντίστασης R_g . Η χρήση της γέφυρας απαιτεί μία εξωτερική πηγή τάσης και τρεις αντιστάτες, μηδενικού συντελεστή άλφα.

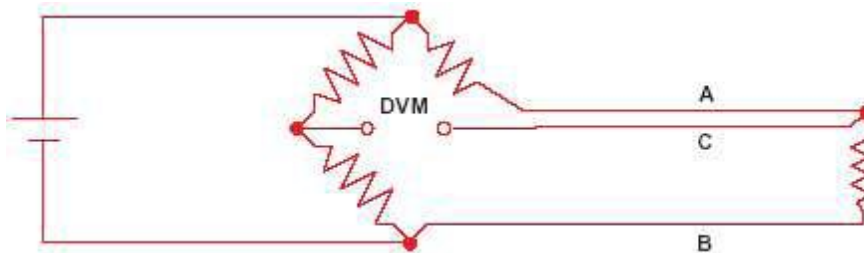


Σχήμα 3.16 Γέφυρα Wheatstone, για μέτρηση PRT. Για να μην εκτίθενται οι τρεις αντιστάτες στην ίδια θερμοκρασία με το PRT, χρησιμοποιείται στην πράξη το διαφοροποιημένο κύκλωμα του σχήματος 3.17.



Σχήμα 3.17 :Πρακτικό κύκλωμα μέτρησης PRT με γέφυρα .

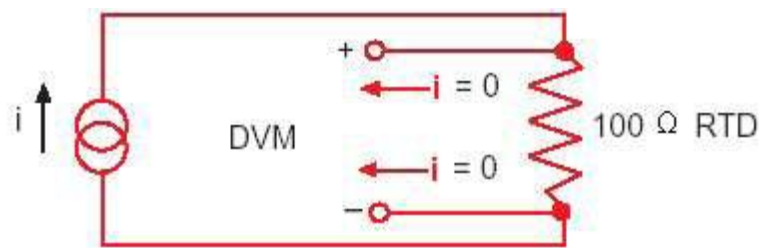
Τώρα όμως εμφανίζεται ξανά ίδιο το πρόβλημα: η αντίσταση των δύο προεκτεταμένων αγωγών επιδρά στη μέτρηση της θερμοκρασίας. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας τη λεγόμενη τεχνική των τριών αγωγών σχήμα 3.18. Αν οι αγωγοί A και B έχουν ακριβώς το ίδιο μήκος, οι αντιστάσεις τους αλληλοαναιρούνται, δεδομένου ότι ανήκουν σε αντίθετα σκέλη της γέφυρας.



Σχήμα 3.18: Τεχνική τριών αγωγών.

Το κύκλωμα όμως του σχήματος 3.18, έχει ως αποτέλεσμα η μεταβολή της τάσης εξόδου της γέφυρας με την αντίσταση του PRT να μην είναι γραμμική. Αυτή η μη γραμμικότητα έρχεται να προστεθεί στην ήδη μη γραμμική εξάρτηση μεταξύ θερμοκρασίας και αντίστασης του PRT.

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση της γέφυρας, λύνονται αν η μέτρηση γίνει χρησιμοποιώντας αντί της εξωτερικής πηγής τάσης, μία πηγή ρεύματος. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 3.19.



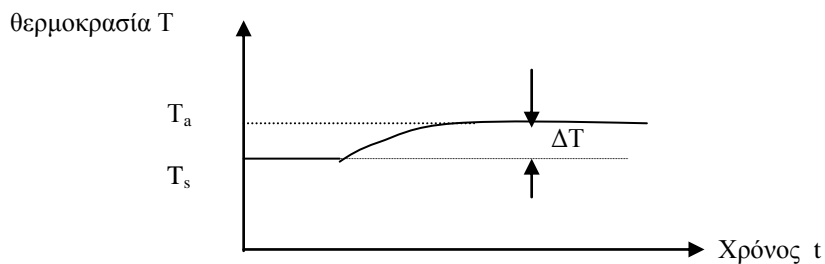
Σχήμα 3.19: Μέτρηση PRT με πηγή ρεύματος και βολτόμετρο

Για την υλοποίηση του κυκλώματος αυτού απαιτούνται τέσσερις αγωγοί, γι' αυτό και ονομάζεται τεχνική των τεσσάρων αγωγών ή τεσσάρων συρμάτων (four wire technique). Η τάση που μετρά το βολτόμετρο είναι η πτώση τάσης στα άκρα στα άκρα του PRT και είναι ευθέως ανάλογη της αντίστασης του, αλλά ανεξάρτητη από το μήκος των χρησιμοποιούμενων αγωγών. Η τεχνική των τεσσάρων αγωγών είναι η ακριβέστερη για τη μέτρηση της θερμοκρασίας με PRTs.

Εκτός από το λευκόχρυσο, για την κατασκευή αντιστατών - αισθητήρων θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται και άλλα μέταλλα όπως νικέλιο, χαλκός και μολυβένιο. Οι χρήσεις τους όμως είναι εξειδικευμένες και οι συνολικές τους δυνατότητες δεν καλύπτουν αυτές των αισθητήρων λευκόχρυσου. Κατά τα λοιπά, ο τρόπος χρήσης και οι συνδεσμολογίες μέτρησης είναι οι ίδιες.

3.2.7 Φαινόμενο αυτοθέρμανσης (self-heating effect)

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αισθητηρίων θερμοκρασίας μεταβλητής αντίστασης είναι το *φαινόμενο αυτοθέρμανσης*. Κατά την λειτουργία του ένα αισθητήριο αντίστασης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λόγω όμως του φαινομένου Joule μια αντίσταση που διαρρέεται από ρεύμα θερμαίνεται. Έτσι το αισθητήριο θερμαίνεται λόγω του ρεύματος που το διαρρέει. Αυτό είναι μια πηγή σφάλματος, αφού η θερμοκρασία του αισθητηρίου δεν επηρεάζεται μόνο από την θερμότητα του αντικειμένου (του οποίου μετρά την θερμοκρασία) αλλά και από την θερμότητα που αναπτύσσεται σε αυτό λόγω του φαινομένου joule. Επειδή η απόκριση του θερμίστορ είναι εξαιρετικά γρήγορη, η τιμή που αυτό μετρά, αρχικά σταθεροποιείται στην πραγματική τιμή. Με την πάροδο του χρόνου όμως, λόγω του φαινομένου της αυτοθέρμανσης, έχουμε μια ελαφρά αύξηση της θερμοκρασίας αυτής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20 Αύξηση θερμοκρασίας λόγω αυτοθέρμανσης

Στο σχήμα αυτό T_s είναι η πραγματική θερμοκρασία που πρόκειται να μετρηθεί και T_a η θερμοκρασία που τελικά μετράται. Έτσι αν θέλουμε να πετύχουμε μεγάλη ακρίβεια στην μέτρηση, πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας την απόκλιση αυτή (συνήθως η διόρθωση γίνεται στις περιπτώσεις εφαρμογών με μικροϋπολογιστή, μέσω προγράμματος).

3.2.8 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Αισθητήρων RTD

Πλεονεκτήματα:

- Εύρος μέτρησης κατά προσέγγιση μεταξύ $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $800\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Χρόνος απόκρισης σε κλάσματα δευτερολέπτου,
- Πιστότητα (καλύτερη από αυτή των θερμοζευγών),
- Μικρό μέγεθος (μπορεί να συγκριθεί και με το μέγεθος της μύτης ενός μολυβιού) και
- Μακροπρόθεσμη σταθερότητα.

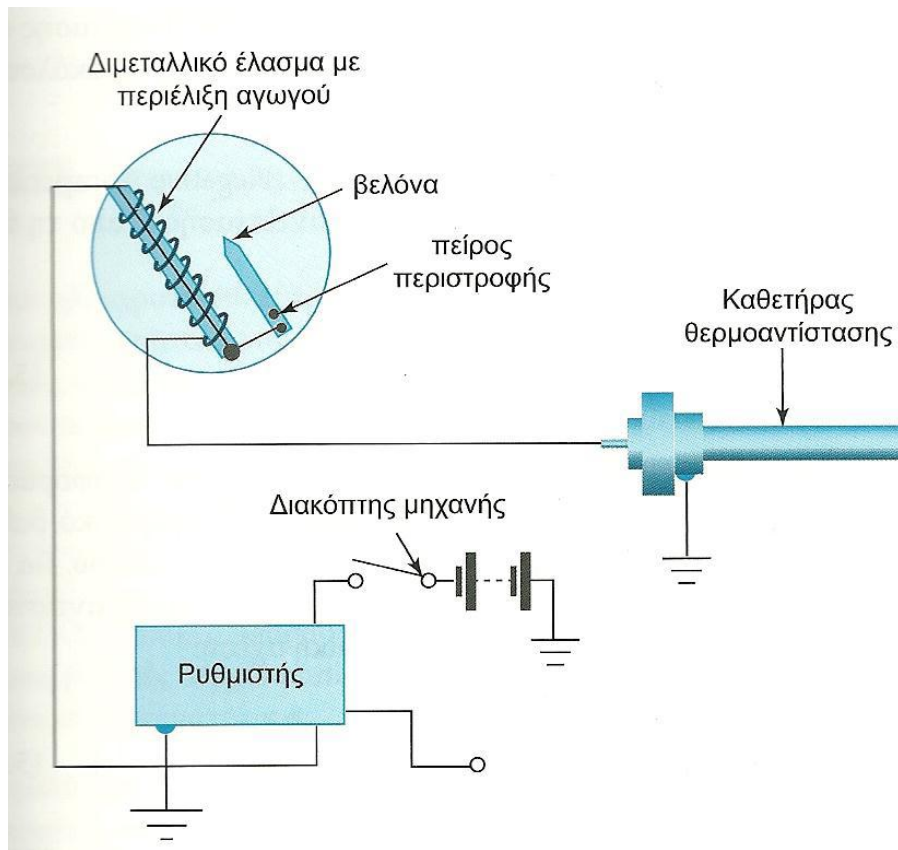
Μειονεκτήματα:

- Μεγάλο κόστος αγοράς,
- Επιρρεπή σε αυτοθέρμανση,
- Χαμηλή ευαισθησία (περίπου $+0.4\Omega/^{\circ}\text{C}$ για 100Ω Pt100 RTD) και
- Περιορισμένο εύρος αντίστασης (100Ω έως $10\text{k}\Omega$).

3.2.9 Εφαρμογές αισθητήρων RTD

Τα θερμομέτρα αντίστασης πλατίνας χρησιμοποιούνται για αρκετά χρόνια έως σήμερα σε εργαστήρια και βιομηχανικές εφαρμογές όπου απαιτείται η μέτρηση της θερμοκρασίας και έχουν αποκτήσει μία πολύ καλή φήμη όσο αφορά την υψηλή ακρίβεια και την σταθερότητα της μέτρησης. Για παράδειγμα, στην τεχνολογία επεξεργασίας, η σωστή θερμοκρασία είναι κρίσιμη για την ποιότητα και απόδοση της διεργασίας. Στην τεχνολογία αυτοματισμού, η ακριβής ανίχνευση θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντική για εγκαταστάσεις επιτήρησης και για προστασία από επικίνδυνες καταστάσεις. Στην θέρμανση και τον κλιματισμό, δεν είναι δυνατή η οικονομική και εύκολη λειτουργία, χωρίς μέτρηση και έλεγχο θερμοκρασίας.

Ας δούμε και ας εξηγήσουμε μία καθημερινή χρήση των θερμομέτρων μεταβαλλόμενης ωμικής αντίστασης. Μέτρηση θερμοκρασίας σε κινητήρα. Η μέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας του νερού στο κύκλωμα ψύξης του κινητήρα γίνεται με αισθητήρα τύπου αντίστασης, που τοποθετείται στην έξοδο του νερού από τα υδροχιτώνια. Το μεταβλητό ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση, οδηγείται σε ενδεικτικό όργανο στο ταμπλό του οχήματος, όπου θερμαίνεται με περιελιγμένο αγωγό ένα διμεταλλικό στοιχείο Σχήμα 3.21. Το τελευταίο, θερμαινόμενο μετακινεί τελικά την ενδεικτική βελόνα του οργάνου. Εισάγοντας την πρόσθετη θερμική αδράνεια του διμεταλλικού ελάσματος στο σύστημα μέτρησης, ο παραπάνω ευφυής μηχανισμός αυξάνει σημαντικά τη σταθερά χρόνου του οργάνου. Η επιθυμητή συνέπεια του είναι η αργή απόκριση του οργάνου στις μεταβολές θερμοκρασίας του κινητήρα, με αποτέλεσμα την άμβλυση των απότομων στιγμιαίων μεταβολών (χωρίς της παρεμβολής του διμεταλλικού στοιχείου η ένδειξη θα παρουσίαζε άσκοπες συνεχείς διακυμάνσεις, παρακολουθώντας τις ανάλογες πραγματικές μεταβολές του φορτίου λειτουργίας του κινητήρα, με αρνητικές επιπτώσεις στην αναγνωσιμότητα και μάλλον την άσκοπη θορύβηση του οδηγού). Η επιθυμητή αύξηση της σταθεράς του χρόνου του οργάνου στην εφαρμογή αυτή μπορεί εναλλακτικά να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση επαρκούς θερμομάζας στο περίβλημα της αντίστασης.



Σχήμα 3.21: Μέτρηση θερμοκρασίας κινητήρα με διάταξη θερμοαντίστασης

3.2.10 Παραδείγματα αισθητήρων RTD

Μοντέλο TA



Μεταδότης θερμοκρασίας $rt1000$ υψηλής ακρίβειας, απευθείας επαφή με το υλικό μέτρησης, 4-20mA αναλογική έξοδος.

Αισθητήρες θερμοκρασίας με ενσωματωμένο επιτηρητή ελέγχου • Γρήγορος χρόνος απόκρισης • Γρήγορη αποσύνδεση. Κλίμακα μέτρησης $0...140^{\circ}\text{C}$ & $-10...150^{\circ}\text{C}$. • Ακρίβεια από $\pm 0.1\text{ K}$ (60°C) μέχρι $\pm 0.5\text{ K}$ ($0...140^{\circ}\text{C}$) • Τάση λειτουργίας 10...30 DC. • Ανοξειδωτος χάλυβας (316S12). • Βύσμα σύνδεσης M12



Αισθητήρες θερμοκρασίας - ::Σειρά TK::

Ο πρώτος αισθητήρας θερμοκρασίας με απλό τρόπο ρύθμισης που συνδυάζει εξαιρετική απόκριση και συμπαγές περίβλημα.

Κλίμακα μέτρησης $-25...140^{\circ}\text{C}/-13...284^{\circ}\text{F}$ και 2 εξόδους μεταγωγής. Η ρύθμιση των σημείων μεταγωγής γίνεται με τους δακτύλιους ρύθμισης στον αισθητήρα, G 1/4, μήκος ακίδας 25 mm. Δύο διαθέσιμα μοντέλα. Ενα μοντέλο (μοντέλο 6130) με ρυθμιζόμενη υστέρηση και το άλλο (μοντέλο 7130) με υστέρηση σταθερή στα 5 K.

Ελάχιστη πολυπλοκότητα και μέγιστη αξιοπιστία. Ο εύκολος χειρισμός με τους 2 δακτύλιους ρύθμισης στον αισθητήρα επιτρέπει την γρήγορη και με ακρίβεια ρύθμιση των σημείων μεταγωγής από τους χρήστες χωρίς την ανάγκη μέτρησης της θερμοκρασίας του συστήματος. Το μηχανικό κλείδωμα και το προστατευτικό καπάκι (προαιρετικό) εμποδίζουν και προστατεύουν από πειράγματα περιέργειας.

Μοντέλο TR & TS

- Επιτηρητές ελέγχου θερμοκρασίας με έξοδο μεταγωγής & αναλογικό σήμα, ή 2 εξόδους μεταγωγής DC
- M12 βύσμα σύνδεσης
- Τάση λειτουργίας: 20...30 DC
- DC PNP / DC NPN
- Εξοδος 1 x normally open / closed προγραμματιζόμενα + 1 x αναλογική (4...20 mA / 0...10 V. ρυθμιζόμενη κλίμακα),
- Κλίμακα μέτρησης - επιτηρητής ελέγχου TR -40...150°C & -40...300°C - Αισθητήρας θερμοκρασίας TS -40...150°C



3.3 Θερμίστορ (Thermistor)

3.3.1 Γενικά

Τα θερμίστορ είναι ημιαγωγοί των οποίων η ανάπτυξη έγινε τα τελευταία χρόνια. Είναι ιδιαίτερα καλοί για τη μέτρηση θερμοκρασίας διότι η ηλεκτρική τους αντίσταση μεταβάλλεται αισθητά με την θερμοκρασία. Η μεταβολή της αντίστασης των θερμίστορ σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία μπορεί να είναι θετική ή αρνητική δηλαδή ενώ αυξάνει η θερμοκρασία η ηλεκτρική αντίσταση των θερμίστορ μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται. Κατασκευάζονται από μίγματα οξειδίων νικελίου, μαγγάνιου, μαγνησίου, τιτανίου, κοβαλτίου, χαλκού. Τα οξείδια κονιοποιούνται και συγκολλούνται με ειδική αλοιφή σε συνθήκες ελεγχόμενης πίεσης και θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται αντί για τα θερμόμετρα αντίστασης, έχουν μικρό όγκο και είναι κατάλληλα για τη μέτρηση θερμοκρασιών τριβέων και τυλιγμάτων κινητήρων.

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζουν μικρή ευαισθησία δηλαδή μεταβολή αντίστασης 5milliohm ανά βαθμό κελσίου. Γι' αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί θερμόμετρα ημιαγωγών που ονομάζονται θερμίστορ (thermistors). Βασίζονται και αυτά στην αρχή της αλλαγής αντίστασης με τη θερμοκρασία. Τα θερμίστορ παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή αντίστασης με τη θερμοκρασία. Κατασκευάζονται από μίγματα μεταλλικών οξειδίων συνήθως από μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο και κοβάλτιο και σε διάφορες μορφές. Η αντίσταση των θερμίστορ κανονικά μειώνεται με τη θερμοκρασία. Η καμπύλη αντίστασης θερμοκρασία όμως, δεν είναι γραμμική αλλά εκθετική. Τα θερμίστορ μπορούν να καλύψουν περιοχές θερμοκρασίας -100 οC έως +300 οC. Έχουν μεγάλη διακριτική ικανότητα σε μικρές περιοχές θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές, σε ηλεκτρονικά κυκλώματα και μπορούν να ενσωματωθούν επάνω σε στερεά σώματα και να μετρήσουν την επιφανειακή τους θερμοκρασία.

- Αντίσταση Σε 20 °C (περίπου): 2KΩ
- Σε 25 °C (τυπικά): 1680 Ω = 20%
- Σε 200 °C (περίπου): 37 Ω
- Ελάχιστη αντίσταση λειτουργίας 37 Ω
- Χαρακτηριστική θερμοκρασία 25 °C έως 85 °C (τυπικά): 3050K = 5%
- Διαστάσεις Μήκος: 76.2 έως 3.2mm, Διάμετρος 4mm
- Αυτοθέρμανση στον αέρα

Η θερμοκρασία του θερμίστορ αυξάνει κατά 1°C για κάθε 1.5mW καταναλισκόμενης ισχύος μέγιστη θερμοκρασία κάψουλας 200°C (εφόσον μεν η μέγιστη ισχύς δεν υπερβαίνεται). Μέγιστη συνεχής κατανάλωση ισχύος στον ελεύθερο αέρα και θερμοκρασία 230mW κατά μέσο όρο, σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 20ms. Σταθερό χρόνο ψύξης T στον ελεύθερο αέρα από την κατάσταση αυτοθέρμανσης.

Πρόκειται για αντιστάτες, η τιμή των οποίων εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Κατασκευάζονται από την μίξη οξειδίων μετάλλων με χαρακτηριστικά ημιαγωγών και έχουν σχήμα κυλινδρικό, σφαιρικό, ορθογώνιο και λεπτού φιλμ.

3.3.2 Αρχή λειτουργίας θερμίστορ

Οι θερμοαντιστάτες, κατασκευάζονται από ημιαγωγά υλικά, που είναι συνήθως οξειδία μετάλλων.

Η ειδική αγωγιμότητα ενός ημιαγωγού δίνεται από τη μαθηματική εξίσωση:

$$\sigma = e (n * \mu_e + p * \mu_h) \quad (1.6)$$

Όπου:

- e το φορτίο του ηλεκτρονίου,

- n και p : οι συγκεντρώσεις των φορέων ηλεκτρονίων και οπών αντιστοίχως,
- μ_e και μ_h : οι ευκινησίες των ηλεκτρονίων και οπών αντιστοίχως.

Η μαθητική εξίσωση για την περίπτωση ενδογενούς ημιαγωγού, δηλαδή εκείνου του οποίου οι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια των ατόμων του, γράφεται:

$$\sigma = e^* n_i^* (\mu_e + \mu_h) \quad (1.7)$$

Γνωρίζουμε όμως ότι:

$$n_i^2 = BT^3 \exp(-E_G/kT) \quad (1.8)$$

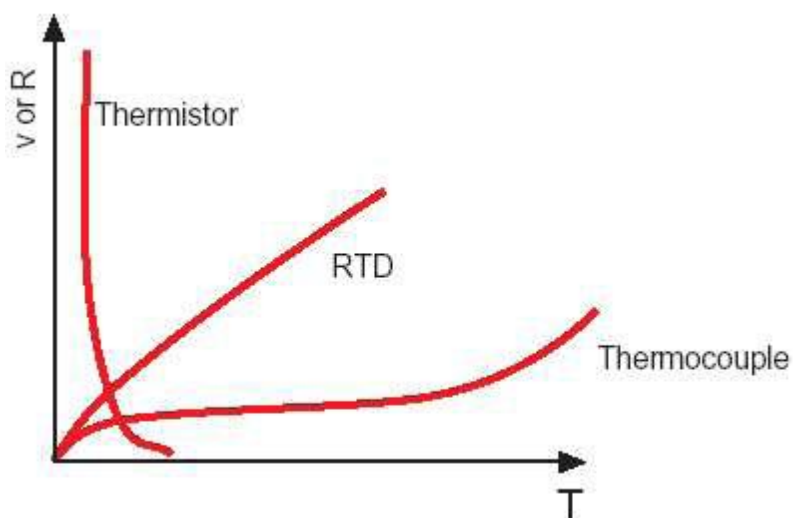
Όπου:

- ο B : σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό του κρυστάλλου,
- ο k : η σταθερά Boltzmann.
- ο T : η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
- ο E_G : το ενεργειακό χάσμα

Η σχέση 1.8 μας δείχνει ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνεται η συγκέντρωση των φορέων συνεπώς και η ειδική αγωγιμότητα (σχέση 1.6). Επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης του θερμοαντιστάτη.

Αν το θερμοζεύγος είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος ηλεκτρικός αισθητήρας θερμοκρασίας και το RTD ο πιο σταθερός, ο θερμοαντιστάτης είναι ο πιο ευαίσθητος.

Από τις τρεις κατηγορίες, ο θερμοαντιστάτης είναι αυτός, του οποίου η αντίσταση μεταβάλλεται περισσότερο με τη θερμοκρασία.



Σχήμα 3.22: Μεταβολή της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας, για τις τρεις βασικές κατηγορίες ηλεκτρονικών αισθητήρων θερμοκρασίας

Ο συντελεστής θερμοκρασίας των θερμίστορς είναι κατά κανόνα αρνητικός. Υπάρχουν θερμίστορς θετικού συντελεστή θερμοκρασίας, αλλά χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο. Η μεταβολή του συντελεστή θερμοκρασίας μπορεί να είναι πολύ μεγάλη, φθάνοντας σε τάξη μεγέθους αρκετές μονάδες επί τοις εκατό ανά °C. Το γεγονός αυτό τους επιτρέπει να ανιχνεύουν πολύ μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ανιχνευθούν με αντιστάτη πλατίνας ή θερμοζεύγος. Η ευαισθησία αυτή όμως έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρώς μη-γραμμική συμπεριφορά τους.

Η αντίσταση ενός θερμίστορ στους 20 °C μπορεί να κυμαίνεται από μερικά kΩ έως τα 40MΩ. Τυπικά χαρακτηριστικά του πλέον δημοφιλούς θερμίστορ 44004 της YSI δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

| Παράμετρος | Χαρακτηριστικά |
|-----------------------------|--|
| Αντίσταση στους 25°C | 2252 Ω (διαθέσιμα από 100 έως 1MΩ) |
| Περιοχή μέτρησης | -80 to +120 °C τυπική (250°C max) |
| Ανοχή | ±0.1 ή ±0.2 °C |
| Σταθερότητα (ετήσια) | < 0.02°C στους 25°C, < 0.25°C στους 100°C |
| Σταθερά χρόνου | < 1.0 s σε έλαιο, < 60 s σε ακίνητο αέρα |
| Αυτοθέρμανση | 0.13 °C/mW σε έλαιο, 1.0 °C/mW στον αέρα |
| Συντελεστές γραμμικοποίησης | $a = 1.4733 * 10^{-3}$, $b = 2.372 * 10^{-3}$, $c = 1.074 * 10^{-7}$ |
| Διαστάσεις | Ελλειψοειδές στέλεχος 2.5mm * 4mm |

Τα θερμίστορς έχουν πολύ καλή μηχανική αντοχή και είναι απλά στη χρήση τους. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην έρευνα, αλλά όχι τόσο σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Η σχέση μεταξύ αντίστασης και θερμοκρασίας των θερμίστορς δίνεται από την εξίσωση **Steinhart & Hart**:

$$T = [a + b \ln(R) + c \ln(R)^3]^{-1} (1.8)$$

όπου a, b, c σταθερές, T η απόλυτη θερμοκρασία και R η ηλεκτρική αντίσταση (Ω). Η εξίσωση Steinhart & Hart δεν παρέχει την απαιτούμενη ακρίβεια αν εφαρμοστεί στο σύνολο του εύρους λειτουργίας του θερμίστορ. Γι αυτό θα πρέπει η περιοχή λειτουργίας να υποδιαιρείται σε μικρές ζώνες, για κάθε μία εκ των οποίων θα υπολογίζονται οι σταθερές a, b και c.

3.3.3 Θερμίστορ τύπου NTC

Τα θερμίστορς NTC εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές αντίστασης όταν υφίστανται μικρές μεταβολές θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση θερμοκρασιών μεταξύ -100 και 300 °C. Η μεταβολή της αντίστασής τους καθορίζεται από το πηλίκο της αντίστασης στους 25 °C προς την αντίσταση στους 125 °C και είναι, ανάλογα με το μοντέλο, της τάξης του 20 έως 40. Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση σε θερμοκρασία 125 °C γίνεται

από 20 έως 40 φορές μικρότερη της αντίστασης σε θερμοκρασία δωματίου . Οι ανοχές των θερμίστορ (της τάξης του 5%, ανάλογα με τη θερμοκρασία) είναι πολύ υψηλότερες από αυτές των θερμοηλεκτρικών αντιστάσεων. Τα θερμίστορ εμφανίζουν υψηλή χρονική σταθερότητα και η τιμή της αντίστασής τους στους 100 °C μεταβάλλεται μετά από 1000 ώρες λειτουργίας κατά ποσοστό της τάξης του 0.1% . Σήμερα διατίθενται θερμίστορς με διάφορες τιμές αντίστασης, από 500 Ω έως 10 MΩ σε θερμοκρασία δωματίου. Τα θερμίστορς NTC κατασκευάζονται σε μορφή ράβδου, δίσκου ή κάψουλας.

Η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία στα θερμίστορς NTC έχει τη γενική μορφή:

$$R_T = R_{T_0} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (1.9)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία μέτρησης σε βαθμούς Κέλβιν και T_0 μία θερμοκρασία αναφοράς (συνήθως οι 298 K, που αντιπροσωπεύουν τους 25 °C), ενώ R_T και R_{T_0} είναι οι τιμές της αντίστασης του θερμίστορ NTC στις παραπάνω θερμοκρασίες. Η παραπάνω σχέση δεν είναι στην πράξη χρήσιμη, επειδή στην ουσία επιθυμούμε να προσδιορίσουμε την τιμή T και γνωρίζουμε τις άλλες τρεις ποσότητες. Έτσι λύνοντας την εξίσωση ως προς T προκύπτει ο ακόλουθος τύπος του Steinhart που αναφέρεται στα θερμίστορς NTC:

$$\frac{1}{T} = a + b (\ln R) + c (\ln R)^3 \quad (1.10)$$

Στον τύπο αυτό η θερμοκρασία T προκύπτει σε βαθμούς Κέλβιν. Οι ποσότητες a , b και c είναι συντελεστές που αναφέρονται στο συγκεκριμένο θερμίστορ που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, σε ένα απλό θερμίστορ, όπως το μοντέλο

P1H103T της εταιρείας Therm-O-Disk που έχει αντίσταση 10 kΩ ± 2% στους 25 °C, οι συντελεστές a , b και c έχουν τις ακόλουθες τιμές:

P1H103T: $a = 1.125190920 \times 10^{-3}$
 $b = 2.347363293 \times 10^{-4}$
 $c = 8.551343472 \times 10^{-8}$

Με βάση τις παραπάνω τιμές, η ακρίβεια στον υπολογισμό της θερμοκρασίας από τον τύπο του Steinhart δίνει ακρίβεια καλύτερη από 0.05 °C στην περιοχή θερμοκρασιών 0 – 100 °C. Ο πίνακας τιμών θερμοκρασίας - αντίστασης του θερμίστορ NTC P1H103T στην παραπάνω περιοχή θερμοκρασιών παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.23.

| ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C) | ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ω) |
|------------------|---------------|
| 0 | 32 654 |
| 10 | 19 903 |
| 20 | 12 493 |
| 30 | 8 056 |
| 40 | 5 327 |
| 50 | 3 603 |
| 70 | 1 752 |
| 100 | 680 |

Πίνακας 3.23: Τιμές θερμοκρασίας - αντίστασης του θερμίστορ NTC P1H103T της εταιρείας Therm-O-Disk

Τα θερμίστορες εμφανίζουν φαινόμενο αυτοθέρμανσης (*self-heating effect*), δηλαδή η θερμοκρασία τους αυξάνει όταν διαρρέονται από ρεύμα, το οποίο είναι της τάξης του ενός βαθμού Κελσίου ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$) ανά 7 mW ηλεκτρικής ισχύος στο εσωτερικό τους.

Τα θερμίστορες NTC σε μορφή δίσκου εμφανίζουν υψηλή αποβολή θερμότητας και διαχείριση ισχύος λόγω του σχήματός τους, που έχει μεγάλη εξωτερική επιφάνεια, και ενδείκνυνται για χρήση όταν δεν απαιτείται η χρήση θερμίστορα πολύ μικρών διαστάσεων. Τα θερμίστορες αυτά μπορούν να διαθέτουν διηλεκτρική επικάλυψη υψηλής μόνωσης όταν είναι ανάγκη να υπάρχει ηλεκτρική μόνωση. Διατίθενται δύο επικαλύψεις, ανάλογα με τη μέγιστη μετρούμενη θερμοκρασία: *Εποξική επικάλυψη (epoxy coating)* για θερμοκρασίες έως $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ και *ελαστική επικάλυψη σιλικόνης (silicon rubber coating)* για θερμοκρασίες έως $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3.4 Θερμίστορ PTC

Τα PTC θερμίστορ, ως πλήρως δικά στοιχεία των προηγούμενων και προερχόμενα από τα αρχικά Positive Temperature Coefficient (Θετικό Θερμοκρασιακό Ανάλογο), ίσως κάνουν πλέον σαφή, λόγω του ονόματός τους, την έμφυτη, αντίστροφη με τα NTCs, τάση τους να αυξάνουν την αντίστασή τους με την άνοδο της θερμοκρασίας (επιγραμματικά αναφέρουμε πως, σε αντιδιαστολή με τους αρνητικούς συγγενείς τους που παρουσιάζουν πάντοτε πτώση της αντίστασής τους, τα PTCs καταφέρνουν να έχουν αυτή την ανοδική σχέση με τη θερμοκρασία μόνο εντός κάποιας θερμοκρασιακής περιοχής, εκτός των ορίων της οποίας συμπεριφέρονται παρόμοια με τα NTCs).

Λόγω της συμπεριφοράς τους αυτής βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε περιπτώσεις όπου θέλουμε προστασία ευαίσθητων (κυρίως όσο αφορά την ένταση ρεύματος) κυκλωμάτων από υπερφόρτωση και γενικότερα σε εφαρμογές όπου η θερμοκρασία καθορίζεται πρωτίστως από το ρεύμα που διαρρέει το θερμίστορ. Ενδεικτικά, ανάμεσα στις εφαρμογές των PTC θερμίστορ βρίσκονται οι μετασχηματιστές και φορτιστές, διάφορες συσκευές μετρήσεων, οι μηχανισμοί των ηλεκτρικών παραθύρων και απόψυξης κλειδαριών στην αυτοκινητοβιομηχανία, ενώ τα PTC βρίσκουν τη θέση τους ακόμη σε οπτικοακουστικές συσκευές όπως κάμερες, CD players, έγχρωμες τηλεοράσεις κτλ.

Οι συνηθέστερες εφαρμογές των θερμίστορς PTC είναι οι εξής:

1. Μέτρηση της ροής ρευστών

Εάν ένα θερμίστορ PTC ευρίσκεται σε ακίνητο αέρα ή σε ακίνητο υγρό, Αδυνατεί να αποβάλλει πολλή θερμότητα και αυτοθερμαίνεται γρήγορα Έτσι γρήγορα μεταβαίνει στην κατάσταση υψηλής αντίστασης, στην οποία μπορεί να διακόψει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελέγχει μία διαδικασία ψύξης, ευρισκόμενο μέσα στο ψυκτικό αέριο ή υγρό. Εάν η ροή του ψυκτικού αερίου ή υγρού μειωθεί, το θερμίστορ αποκτά μεγάλη αντίσταση και ενεργοποιεί ένα κύκλωμα προειδοποίησης ή το κύκλωμα ελέγχου της ροής του ψυκτικού.

2. Χρονική καθυστέρηση

Εάν διαβιβάσουμε σε ένα θερμίστορ PTC ένα συγκεκριμένο ρεύμα, το θερμίστορ θα αυτοθερμανθεί και θα οδηγηθεί σε συγκεκριμένο χρόνο στην κατάσταση υψηλής αντίστασης, στην οποία μπορεί να ενεργοποιήσει κάποιο υποκύκλωμα. Επομένως μπορούμε να ενεργοποιήσουμε ένα υποκύκλωμα μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, να εισάγουμε δηλαδή μία επιθυμητή χρονική καθυστέρηση στη λειτουργία του υποκυκλώματος. Είναι σημαντικό να έχει το θερμίστορ PTC τη δυνατότητα να ψυχθεί πλήρως μεταξύ δύο διαδοχικών αυτοθερμάνσεων, αλλιώς η χρονική καθυστέρηση στη δεύτερη περίπτωση θα είναι μικρότερη και το θερμίστορ δε θα λειτουργεί αξιόπιστα.

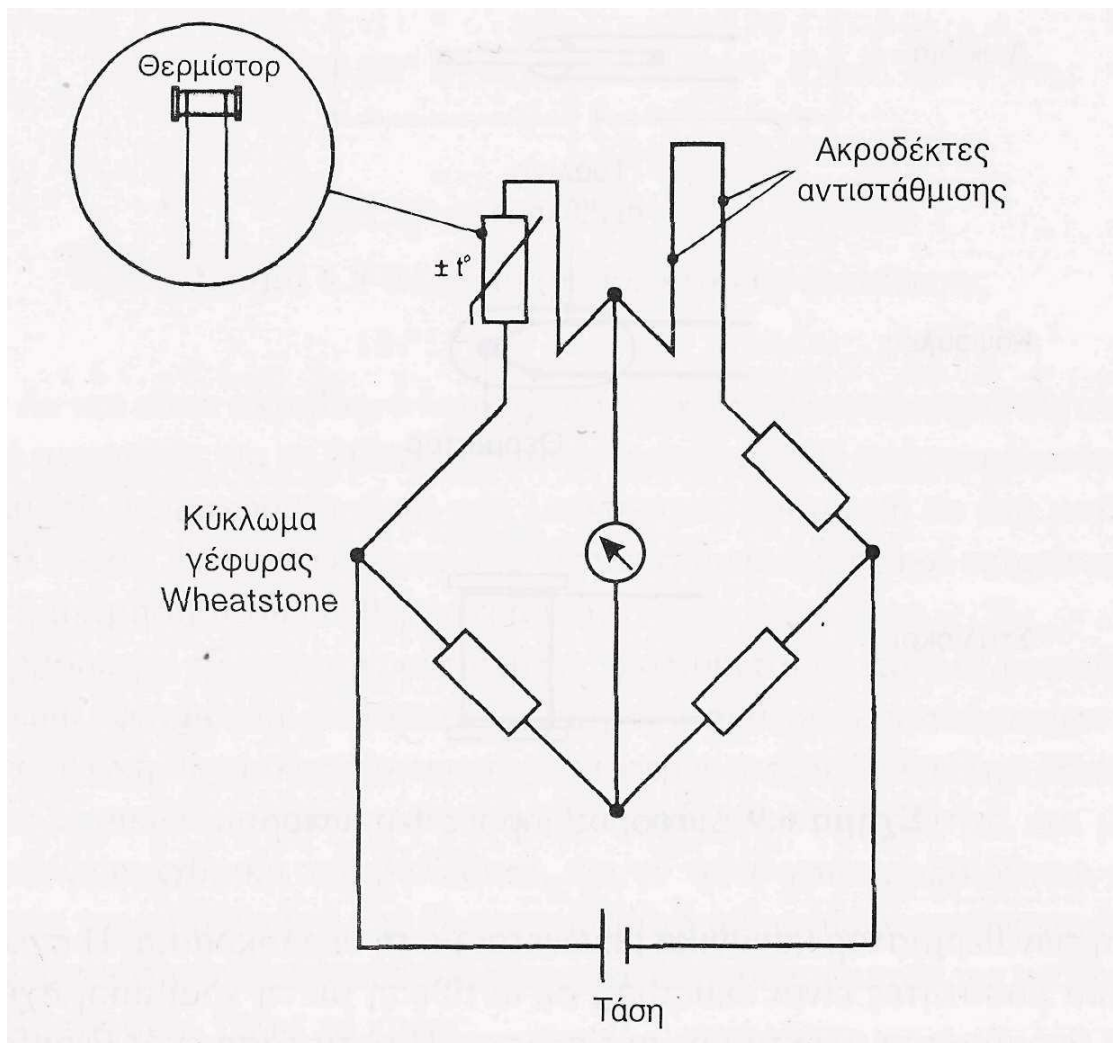
3. Προστασία μπαταριών από υπερφόρτιση

Όταν οι μπαταρίες φορτίζονται στη μέγιστη χωρητικότητά

τους, θερμαίνονται. Έτσι ένα θερμίστορ PTC που ευρίσκεται σε επαφή με μία μπαταρία μπορεί να ανιχνεύσει πότε η μπαταρία φορτίζεται πλήρως. Τότε η αντίστασή του αυξάνει απότομα και μηδενίζεται το ρεύμα που το διαρρέει, με αποτέλεσμα τη διακοπή της τροφοδοσίας της μπαταρίας.

3.3.5 Τρόποι σύνδεσης θερμοαντιστατών

Ο θερμοαντιστάτης μπορεί να συνδεθεί σε ένα βραχίονα μιας γέφυρας Wheatstone, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



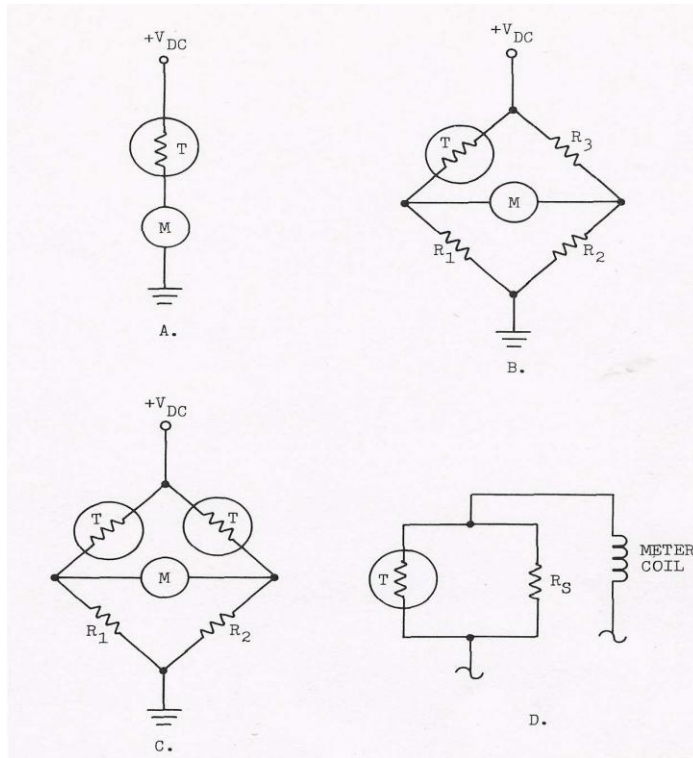
Σχήμα 3.24: Σύνδεση *thermistor* σε γέφυρα *Wheatstone*

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να συνδεθεί και χρησιμοποιηθεί αντίστοιχα ένας θερμοαντιστάτης. Οι τρόποι αυτοί είναι τέσσερις για την ακρίβεια.

Στο σχήμα 3.25(A) ο αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μία απλή συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας όταν τοποθετείται σε σειρά με το όργανο μέτρησης, πράγμα που κάνει το όργανο ευαίσθητο στη ροή του ρεύματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μία μικρή αλλαγή στο ρεύμα να προκαλεί ισοδύναμη αλλαγή σε βαθμούς θερμοκρασίας. Στο σχήμα 3.25(B) το αισθητήριο τοποθετείται σε συνδεσμολογία γέφυρας ώστε να παρέχει πιο ακριβή μέτρηση. Το όργανο μέτρησης, δείχνει την ελάχιστη αλλαγή του ρεύματος η οποία απεικονίζεται σε βαθμούς θερμοκρασίας.

Ένας άλλος τρόπος σύνδεσης του συγκεκριμένου αισθητήρα, είναι όταν επιθυμούμε σύγκριση θερμοκρασιών, οπότε τοποθετούμε σε συνδεσμολογία γέφυρας δύο θερμίστορ, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.25(C). Όταν η γέφυρα δεν διαρρέεται από ρεύμα τότε βρίσκεται σε ισορροπία. Όταν όμως αλλάξει η θερμοκρασία θα υπάρξει διαρροή ρεύματος διαμέσου του βαθμονομημένου οργάνου μέτρησης επειδή δεν θα υπάρχει ισορροπία.

Τέλος, στο σχήμα 3.25(D) το θερμίστορ μπορεί να τοποθετηθεί 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 οποιαδήποτε αλλαγή στη θερμοκρασία να επηρεάζει και τα δύο αλλά σε αντίθετες κατευθύνσεις.



Σχήμα 3.25

3.3.6 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές Θερμιστορ

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

Στο πίνακα 3.26 απεικονίζονται οι προδιαγραφές των θερμιστορ

| |
|--|
| 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 |

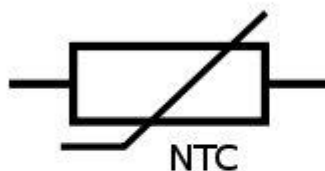
Πίνακας 3.26

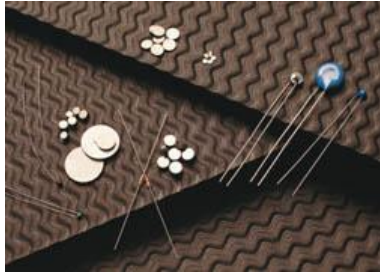
3.3.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Βασικά πλεονεκτήματα των θερμοιστορ, είναι ότι αντέχουν στην υψηλή θερμοκρασία διότι ο συντελεστής τους είναι 10 φορές μεγαλύτερος από τα μέταλλα, είναι μικρά σε μέγεθος, εύχρηστα, έχουν μεγάλη αντοχή, μεγάλη ακρίβεια σε χαμηλές θερμοκρασίες και γρήγορη απόκριση. Μειονεκτήματα είναι η εκθετική σχέση μεταξύ αντίστασης του θερμοιστορ και θερμοκρασίας δυσκολεύει τις μετρήσεις και είναι παράγων αστάθειας και ότι η μικρή θερμική μάζα των θερμοιστορ μπορεί να οδηγήσει σε αυτοθέρμανση με αποτέλεσμα την αλλοίωση των χαρακτηριστικών του

3.3.8 Παραδείγματα αισθητήρων θερμοιστορ

NTC thermistor





RTI κατασκευάζει **DISC & CHIP** θερμίστορ στυλ σε τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 1,0 ohm σε 500.000 ohms. Αυτές οι συσκευές είναι κατάλληλες για ένα εύρος τιμών αντίστασης και συντελεστές της θερμοκρασίας από σχετικά χαμηλή αντίσταση και οι συντελεστές της θερμοκρασίας σε πολύ υψηλές τιμές. Ανοχές αντίσταση ακριβείας είναι διαθέσιμα σε 1%. Standard ανοχές αντίστασης είναι από 5% έως 20%. Όλα τα όρια ανοχής που προσδιορίζονται στους 25 ° C ή μπορεί να καθορισθεί σε οποιαδήποτε θερμοκρασία εντός του εύρους θερμοκρασίας λειτουργίας του θερμίστορ.

PTC Thermistor



RTI Electronics κατασκευάζει και διανέμει θερμίστορ ύφους του δίσκου σε τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 1,0 έως 1500 ohms στους 25 ° C, και η εναλλαγή θερμοκρασίας (T_s) 40 έως 120 ° C. Η μέγιστη τάση λειτουργίας (V_{max}) που διατίθενται είναι 350V DC.

4.Θερμόμετρα με υγρό και αέριο

4.1 Γενικά

Η λειτουργία των θερμομέτρων αυτών βασίζεται στη γραμμική ελαστική παραμόρφωση Δl ενός ελαστικού στερεού στελέχους ή στη μεταβολή ύψους μίας στήλης υγρού λόγω θερμικής διαστολής, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta L=S*\Delta T(1.11)$$

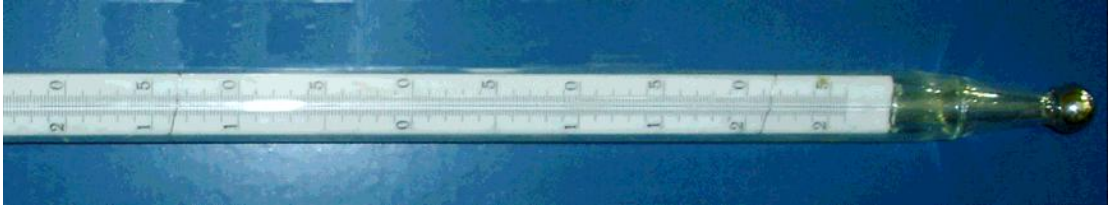
Τα συγκεκριμένα θερμομέτρα επομένως περιέχουν ένα αέριο ή ένα πτητικό υγρό και στηρίζονται σε μετρήσεις πίεσης για να παρέχουν τις ενδείξεις θερμοκρασίας. Υπάρχουν 3 είδη θερμομέτρων αυτού του τύπου, τα οποία μπορούν να περιέχουν:

- i. Υγρό (liquid filled system)
- ii. Υγρό και τους ατμούς του (Liquid vapor pressure filled system)
- iii. Αέριο (gas filled system)

4.1.1 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΓΥΑΛΙ

Ένα θερμομέτρο γυαλιού περιέχει, ερμητικά κλεισμένη, μία ποσότητα υγρού σε ισορροπία με τους ατμούς του. Η αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου γυαλιού βασίζεται στο ότι η πίεση στον θάλαμο που περιέχει το ρευστό και τους ατμούς του είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του όγκου του δοχείου. Με τα θερμομέτρα γυαλιού μπορούμε να μετρήσουμε θερμοκρασίες μέσα στην περιοχή που συνυπάρχει το ρευστό με τους ατμούς του. Για παράδειγμα το υδραργυρικό θερμομέτρο (Εικόνα4.1), αποτελείται από το βολβό αποθήκευσης του θερμομετρικού υγρού, τον τριχοειδή σωλήνα όπου

ανέρχεται το υγρό διαστελλόμενο, το θάλαμο εκτόνωσης στο άλλο άκρο, και, εξωτερικά, τη βαθμονομημένη κλίμακα.



Εικόνα 4.1: Θερμόμετρο υδραργύρου σε γυαλί: ένδειξη θερμοκρασίας:21.4°C

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διαστολή του υγρού που υψώνεται μέσα στον τριχοειδή σωλήνα έως το σημείο που αντιστοιχεί στην υπό μέτρηση θερμοκρασία. Για θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του Hg (457°C σε πίεση 1 bar), μπορούμε να γεμίσουμε το χώρο πάνω από το υγρό με άζωτο υπό πίεση, ανυψώνοντας έτσι το σημείο βρασμού του Hg

4.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι η απλότητα στην κατασκευή και το φθινό κόστος. Επίσης μεταφέρονται εύκολα και είναι εύκολα στο χειρισμό χωρίς πρόσθετα ενδεικτικά όργανα.

Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι εύθραυστα και έχουν σχετικά υψηλή θερμοχωρητικότητα, που προκαλεί καθυστέρηση απόκρισης του θερμομέτρου σε απότομες μεταβολές θερμοκρασίας.

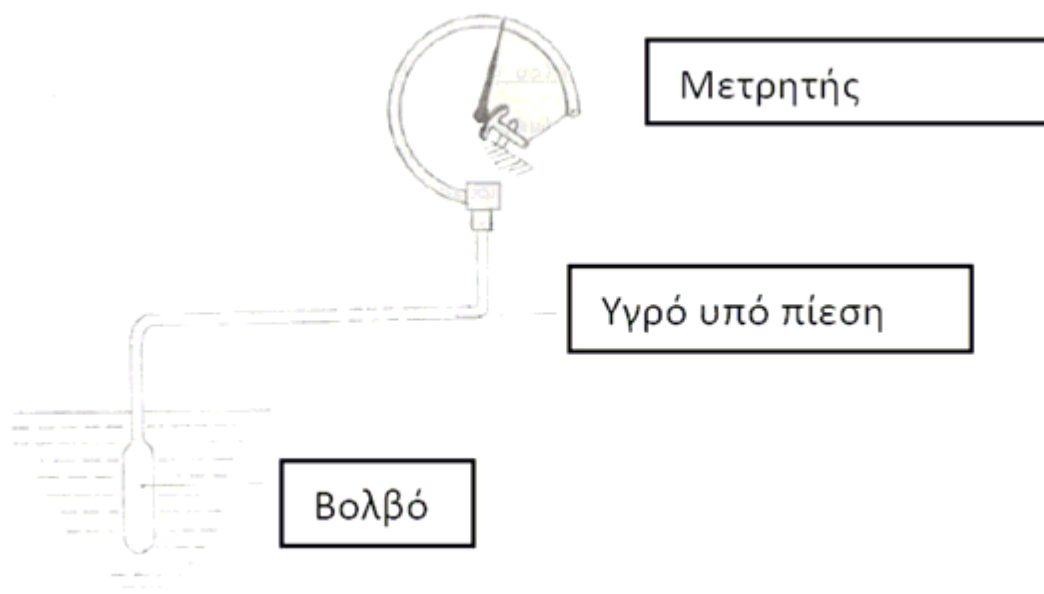
| ΥΓΡΟ | ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ °C |
|-------------------|------------------------------|
| Ύδραργυρος | -35 έως 510 |
| Άλκοόλη | -80 έως 70 |
| Τολουόλιο | -80 έως 100 |
| Πεντάνιο | -200 έως 30 |

Πίνακας 4.2: Υγρά που συνήθως χρησιμοποιούνται

4.2 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΟ

Καθώς το ρευστό διογκώνεται αυξάνεται η πίεση του. Η αύξηση της πίεσης προκαλεί το ξετύλιγμα στον ελικοειδή θάλαμο Bourdon (βλ. σχήμα 4.2), ο οποίος παρασύρει μαζί και την ενδεικτική βελόνα.

Η διαστολή του βολβού και του περιεχόμενου, ασυμπίεστου υγρού λόγω της θερμοκρασιακής αύξησης, ανυψώνει σημαντικά την πίεση του συστήματος (μπορεί να φθάσει έως και 100-150 bar), ώστε να καταφέρει να παραμορφώσει αντίστοιχα το μεταλλικό περίβλημα για να χωρέσει ο επιπλέον όγκος. Έτσι τείνει να ισιώσει τον κεκαμμένο σωλήνα του μετρητή Bourdon, όσο αυξάνει η θερμοκρασία. Η μετακίνηση του ελεύθερου άκρου του σωλήνα, μεταβιβάζεται με κατάλληλο μηχανισμό σε μετακίνηση του δείκτη που κινείται σε βαθμονομημένη κλίμακα.



Σχήμα 4.2 Θερμόμετρο υγρού σε μέταλλο

4.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών είναι το μεγάλο εύρος μέτρησης θερμοκρασιών και το γεγονός ότι επιτρέπονται μεγάλα μήκη τριχοειδούς σωλήνα, ώστε ο βολβός (σημείο μέτρησης) να μπορεί να βρίσκεται ακόμη και αρκετά μέτρα από το όργανο ένδειξης.

Κύριο μειονέκτημα του οργάνου αυτού είναι η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στον τριχοειδή σωλήνα. Αντιστάθμιση γίνεται μ' έναν τυφλό τριχοειδή σωλήνα κατά μήκος του κύριου σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με δεύτερο σωλήνα Bourdon, μηχανικά συνδεδεμένο και σε αντίθετη φορά κίνησης με τον κύριο μετρητή Bourdon.

| ΥΓΡΟ | ΕΥΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ °C |
|-------------------|------------------------------|
| Ύδράργυρος | -35 έως 510 |
| Άλκοόλη | -80 έως 70 |
| Τολουόλιο | -80 έως 100 |
| Πεντάνιο | -200 έως 30 |

Πίνακας 4.2.1: Υγρά που συνήθως χρησιμοποιούνται

4.3 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ ΑΕΡΙΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΟΓΚΟ

Τα συστήματα που περιέχουν αέριο (gas-filled) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και σε μερικές περιπτώσεις σε εργαστηριακές μετρήσεις. Η λειτουργία τους είναι βασισμένη στον νόμο ιδανικού αερίου. Όταν ο όγκος και η ποσότητα του αερίου διατηρούνται σταθερά, η αύξηση της θερμοκρασίας του βολβού προκαλεί αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του, καθόσον η πίεση κορεσμού της αέριας φάσης είναι νομοτελειακά ανάλογη με τη θερμοκρασία της. Προσεγγιστικά για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 20°C, η πίεση διπλασιάζεται. Σε ένα χαρακτηριστικό gas-filled σύστημα, το αέριο (συνήθως άζωτο) δεν είναι τέλειο, έτσι μπορεί να υπάρξει μια μικρή αλλαγή στον όγκο. Εντούτοις, αυτή η διαφορά είναι δευτερεύουσα και δεν αποτρέπει τη χρήση της μέτρησης πίεσης για να υποδείξει τη θερμοκρασία.

Αυτός ο τύπος θερμομέτρου συνδέει έναν σωλήνα bourdon με έναν τριχοειδή σωλήνα στο σωλήνα πίεσης. Όταν το σύστημα σχεδιάζεται για ένα αέριο και γεμίζεται με αυτό (συνήθως άζωτο ή ήλιο), η πίεση στο σύστημα ακολουθεί ουσιαστικά το νόμο αερίου, και η ένδειξη θερμοκρασίας λαμβάνεται από το σωλήνα Bourdon. Η σχέση θερμοκρασίας-πίεσης-κινήσεων είναι σχεδόν γραμμική. Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται. Τα μόρια του αερίου κινούνται ταχύτερα και συγκρούονται με τα τοιχώματα πιο συχνά. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση μέσα στο δοχείο αυξάνεται αφού τα τοιχώματα είναι ανένδοτα. **Όταν το σύστημα σχεδιάζεται για να γεμίζει με ένα υγρό και γεμίζει με ένα υγρό, η αλλαγή όγκου του υγρού ωθεί το σωλήνα πίεσης.**

Με απλά λόγια, η πίεση που δημιουργείται μεταφέρεται με τον τριχοειδή σωλήνα στο όργανο ένδειξης, που απαρτίζεται από αισθητήρα πίεσης τύπου σωλήνα Bourdon, ενδεικτική βελόνα και κλίμακα θερμοκρασιών.

Το σύστημα με αέριο χρησιμοποιεί τον νόμο των τέλειων αερίων, ο οποίος δηλώνει ότι ένα ιδανικό αέριο ενός δεδομένου βάρους με σταθερό όγκο παράγει μια απόλυτη πίεση ευθέως ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία του αερίου υπό ιδανικές συνθήκες.

$$P * V = n * R * T(1.12)$$

Όπου:

P: απόλυτη πίεση (atm).

V: συγκεκριμένος όγκος του αερίου (m).

n: Ο αριθμός των moles του αερίου μέσα σε όγκο V.

R: Παγκόσμια σταθερά των αερίων με τιμή R = 8.317 J/mole*K

T: απόλυτη θερμοκρασία (°K)

Εάν ο όγκος του αερίου στο όργανο μέτρησης διατηρείται σταθερός, η αναλογία της πίεσης και της θερμοκρασίας αερίου θα είναι σταθερή, έτσι ώστε:

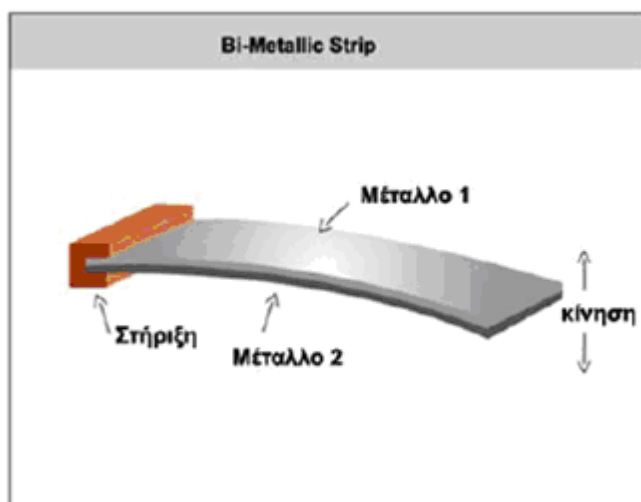
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}(1.13)$$

Οι μόνοι περιορισμοί στην παραπάνω εξίσωση είναι ότι η θερμοκρασία πρέπει να εκφραστεί σε βαθμούς Kelvin και η πίεση πρέπει να μετράται σε απόλυτες μονάδες.

4.4 Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα

Αρχή λειτουργίας διμεταλλικών θερμομέτρων

Ένα διμεταλλικό έλασμα (bimetallic strip) αποτελείται από δύο ελάσματα ίδιου μήκους, από διαφορετικά υλικά, στερεωμένα ακλόνητα το ένα με το άλλο με τη βοήθεια καρφώματος ή κάποιας μορφής συγκόλλησης. Το ένα άκρο του ελάσματος είναι στερεωμένο και ακίνητο και όταν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας το ευθύγραμμο αρχικά έλασμα κάμπτεται και λαμβάνει καμπύλο σχήμα. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό συντελεστή διαστολής των δύο μετάλλων. Το μέταλλο με το μεγαλύτερο συντελεστή διαστέλλεται περισσότερο ώστε να έχει μεγαλύτερο μήκος από το άλλο έλασμα. Η μετατόπιση του εξαρτάται από την μεταβολή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.4.1 Διμεταλλικό έλασμα

Το διμεταλλικό έλασμα μπορεί να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε τις στιγμές που θερμαίνεται, και επομένως κάμπτεται, ή τις στιγμές που ψύχεται, και επομένως ευθυγραμμίζεται, να ανοίγει ή να κλείνει τις επαφές ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

Σ' αυτή την αρχή, καθώς και στην αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου αερίου, στηρίζονται οι θερμοστάτες (thermostats), που ελέγχουν έτσι με απλό τρόπο το άνοιγμα κλείσιμο της λειτουργίας πολλών συσκευών θέρμανσης ή ψύξης (ψυγεία, αερόθερμα κτλ). Πολλές φορές τυλίγουμε τα διμεταλλικά ελάσματα σε σπειροειδή μορφή. Το μεγάλο μήκος παρέχει έτσι επαρκή κίνηση του δείκτη.

4.4.1 Είδη Διμεταλλικών θερμομέτρων

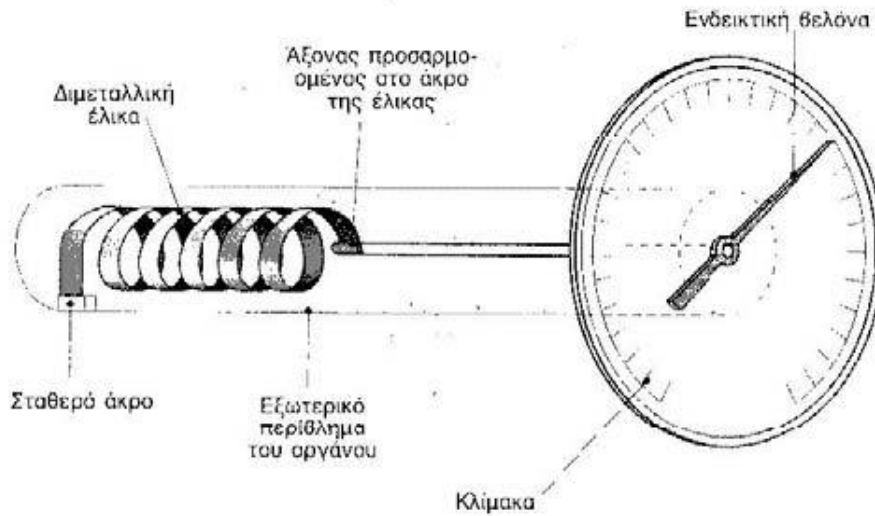
Το διμεταλλικό θερμόμετρο αποτελείται από διμεταλλικό σπειροειδές ελατήριο ορείχαλκου - invar, στη μία άκρη του οποίου έχει στερεωθεί ένας δείκτης. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το ελατήριο συσπειρώνεται και ο δείκτης κινείται στη βαθμολογημένη κλίμακα.

Το διμεταλλικό έλασμα μπορεί να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε τις στιγμές που θερμαίνεται, και επομένως κάμπτεται, ή τις στιγμές που ψύχεται, και επομένως ευθυγραμμίζεται, να ανοίγει ή να κλείνει τις επαφές ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Σ' αυτή την αρχή, καθώς και στην αρχή λειτουργίας του θερμομέτρου αερίου, στηρίζονται οι θερμοστάτες (thermostats), που ελέγχουν έτσι με απλό τρόπο το άνοιγμα κλείσιμο της λειτουργίας πολλών συσκευών θέρμανσης ή ψύξης (ψυγεία, αερόθερμα κτλ). Πολλές φορές τυλίγουμε τα διμεταλλικά ελάσματα σε σπειροειδή μορφή. Το μεγάλο μήκος παρέχει έτσι επαρκή κίνηση του δείκτη.

Το διμεταλλικό θερμόμετρο χρησιμοποιείται σε φούρνους, σωληνώσεις ζεστού νερού και θαλάμους ατμού. Τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι συμπαγές, έχει ευέλικτη σχεδίαση, είναι σχετικά φθηνό και το ωφέλιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι από 238 °K έως 873 °K με γενικά καλή ακρίβεια.

Τα μειονεκτήματά του είναι ότι το διμεταλλικό έλασμα εμφανίζει γήρανση, οπότε χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης με το

πέρασμα του χρόνου, δεν προσφέρεται για χρήση από απόσταση και αποκρίνεται αργά στις μεταβολές της θερμοκρασίας .



Σχήμα 4.4.2 : Θερμόμετρο διμεταλλικού ελάσματος

4.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- συμπαγές, ευέλικτης σχεδίασης, σχετικά φθινό.
- το ωφέλιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι από 238 K έως 873 K με γενικά καλή ακρίβεια

Μειονεκτήματα:

- το διμεταλλικό έλασμα εμφανίζει γήρανση, οπότε χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης με το πέρασμα του χρόνου.

4.4.3 Παραδείγματα διμεταλλικών θερμομέτρων



Μεταλλικό θερμόμετρο Ψυγείου / Κατάψυξης



Χαρακτηριστικά θερμομέτρου φούρνου

Είδος: Διμεταλλικό θερμομέτρο

Μήκος άξονα: 8cm

Υλικό δείκτη: Χάλυβας

Χρώμα εδεικτικής βελόνας: Μαύρο

Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας: 65°C έως 315°C

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας

Χρήσεις: Μέτρηση θερμοκρασίας φούρνων

4.5 Πυρίμαχοι κώνοι, χρώματα και κραγιόν

Η μέτρηση θερμοκρασίας με βάση τη μεταβολή της φυσικής κατάστασης των στερεών γίνεται με δύο τρόπους:

1. Μεταβολή του σχήματος ή του μεγέθους: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πυρομετρικούς κώνους, θερμοσκοπικές μπάρες, καταγραφείς θερμότητας και δαχτυλίδια.

2. Μεταβολή του χρώματος: Χρώματα (βερνίκια) και κραγιόν

Πυρομετρικοί κώνοι: Κατασκευάζονται από μίγματα διαφόρων ουσιών, όπως πορσελάνη, τάλκη, άστριο, χαλαζία κ.ά., που κατατάσσονται σε αριθμημένη σειρά που αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 600 - 2000°C. Τοποθετούνται τουλάχιστο τρεις κώνοι με διαφορετικά σημεία τήξης πάνω σ' ένα πυρίμαχο δίσκο και τη ζητούμενη θερμοκρασία δείχνει ο μισοτηγμένος κώνος, του οποίου η κορυφή μόλις ακουμπά στον δίσκο. Παρόμοια διαδικασία χρησιμοποιείται και στην περίπτωση των θερμοσκοπικών μπαρών και καταγραφέων θερμότητας.

Βερνίκια και κραγιόν: Είναι χρήσιμα για απεικόνιση θερμοκρασιακών πεδίων σε επιφάνειες μετάλλων κτλ (πχ ζώνη συγκολλήσεων που επηρεάζεται από τη θερμότητα, σφυρηλασία εν θερμώ και θερμική κατεργασία μετάλλων και πολυμερών). Αλλάζουν χρώμα ή εμφάνιση σε μια καθορισμένη θερμοκρασία.

Σήμερα συνδυάζονται αποτελεσματικά με τις σύγχρονες τεχνικές υπέρυθρης θερμογραφίας.



Σχήμα 4.5.1 *Θερμόμετρα τύπου κραγιόν, χαπιών και δεικτών σε υγρή μορφή.*

Τα κραγιόν περιέχουν ένα υγρό που λειώνει σε μορφή ράβδου. Είναι κατάλληλα για την μέτρηση θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών ακόμη και μεγάλης τραχύτητας. Τα θερμόμετρα τύπου χαπιών χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε φούρνους και κλιβάνους, όπου εφαρμόζεται θέρμανση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα χάπια τοποθετούνται πριν αρχίσει η θέρμανση του συστήματος και μόλις αρχίσει η τήξη του χαπιού είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας. Οι δείκτες σε υγρή μορφή περιέχουν τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούνται στα κραγιόν και στα χάπια, αλλά σε μορφή λάκκας (αιώρημα σε διαλυτικό υγρό). Αφού αναδευτεί καλά η λάκκα, βάψουμε με αυτήν την επιφάνεια που θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία της. Ο διαλύτης εξατμίζεται γρήγορα και απομένει το σχετικό ίχνος στην επιφάνεια. Όταν η επιφάνεια φτάσει στην θερμοκρασία, το ίχνος τήκεται εμφανώς και αλλάζει υφή, (από μάτ αδιαφανή σε γυαλιστερή διαφανή), οπότε μπορεί να ταυτοποιηθεί εύκολα εκ των υστέρων .

5. Αισθητήρες θερμοκρασίας για μετρήσεις από απόσταση

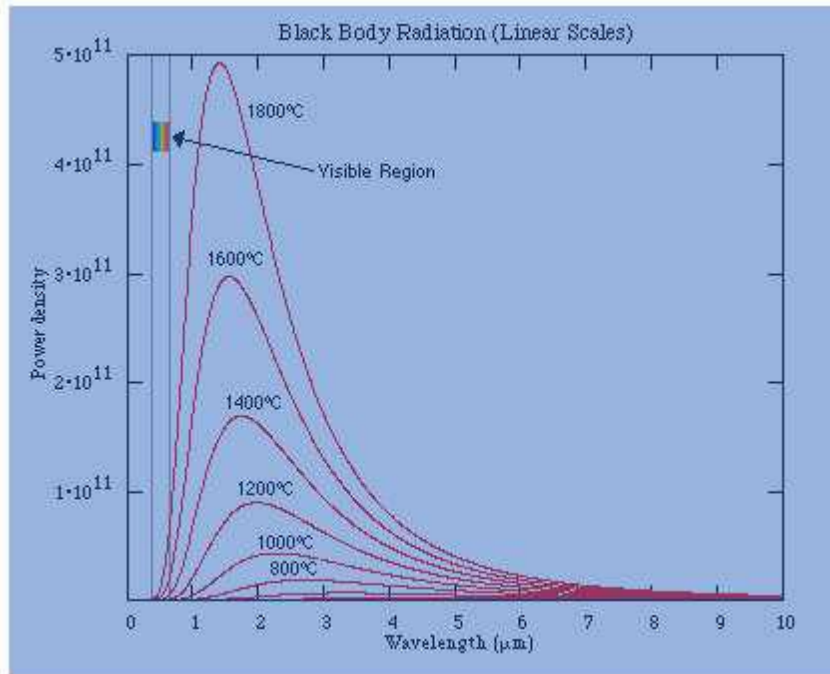
Πυρόμετρα

Τα πυρόμετρα είναι θερμόμετρα που βασίζονται στην απορρόφηση της θερμικής ακτινοβολίας και βρίσκουν χρήση κυρίως στην τηλεμέτρηση μεγάλων θερμοκρασιών, σε περιπτώσεις μάλιστα καταστροφικά υψηλών θερμοκρασιών αποτελούν ίσως τη μόνη επιλογή. Για όλους τους τύπους πυρομέτρων, η τηλεμέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος βασίζεται στην αξιοποίηση όλου ή μέρους του φάσματος των μήκων κύματος που εκπέμπονται ως θερμική ακτινοβολία από την επιφάνεια του. Η ακτινοβολία αυτή, συγκεντρώνεται με σύστημα φακών στο στοιχείο ανίχνευσης που είναι τοποθετημένο στην εστία του οπτικού συστήματος του πυρομέτρου. Η διάταξη δεν απαιτεί φυσική επαφή με τη μετρούμενη επιφάνεια, ούτε επηρεάζεται από την απόσταση οργάνου - επιφάνειας (μέσα σε προκαθορισμένα βέβαια όρια). Τα παραπάνω καθιστούν πλεονεκτικά τα πυρόμετρα για τη μέτρηση υψηλών θερμοκρασιών από απόσταση ασφαλείας, π.χ. τηλεμέτρηση της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας μιας πολλαπλής εξαγωγής καυσαερίων μίας μηχανής εσωτερικής καύσης. Συνεπώς, η χρήση πυρομέτρων προσφέρεται μόνο για ορατές επιφάνειες και όχι για μέτρηση θερμοκρασιών σε εσωτερικά σημεία.

Αναφορικά με τη λειτουργία τους, είναι γνωστό ότι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών T_1 και T_2 ανταλλάσσεται θερμότητα q με αμοιβαία εκπομπή - απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$q = \frac{Q}{A} = \sigma \epsilon_1 C_{1-2} (T^1 - T^2) \quad (1.14)$$

Όπου σ η σταθερά των Stefan-Boltzman, ϵ_1 ο συντελεστής εκπομπής του σώματος 1 και C_{1-2} ο συντελεστής θέασης από το σώμα 1 προς το σώμα 2. Για μελανά σώματα (δηλ. απόλυτα μαύρα) ο συντελεστής απορρόφησης α και ο συντελεστής εκπομπής ϵ είναι μονάδα, δηλαδή $\alpha = \epsilon = 1$, ενώ τα πραγματικά σώματα εναλλάσσουν θερμική ακτινοβολία με τιμές των α και ϵ μεταξύ 0 και 1. Ενδεικτικά, η πλειονότητα των μη μεταλλικών σωμάτων έχει συντελεστή εκπομπής περίπου $\epsilon = 0.9$, ενώ οι λείες μη οξειδωμένες μεταλλικές επιφάνειες εμφανίζουν $\epsilon = 0.1$ περίπου. Η παραπάνω ενέργεια εκπέμπεται σε ένα ευρύ φάσμα μήκων κύματος, που εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα για διάφορες θερμοκρασίες από το συνολικό εμβαδόν που διαγράφεται κάτω από αντίστοιχη καμπύλη εκπομπής. Φαίνεται δηλαδή ότι οποιοδήποτε επίγειο σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων, παρομοιαζόμενο με ασυντόνιστο υψίσυχο ραδιοφωνικό πομπό. Το μέγιστο της εκπεμπόμενης ενέργειας για μία θερμοκρασία T παρατηρείται για μήκος κύματος λ_0 ,



Σχημα 5.1 Φασματική κατανομή του μέλανος σώματος.

υπακούοντας στη σχέση:

$$\lambda_0 T = 2898 \mu\text{mK} \quad (1.15)$$

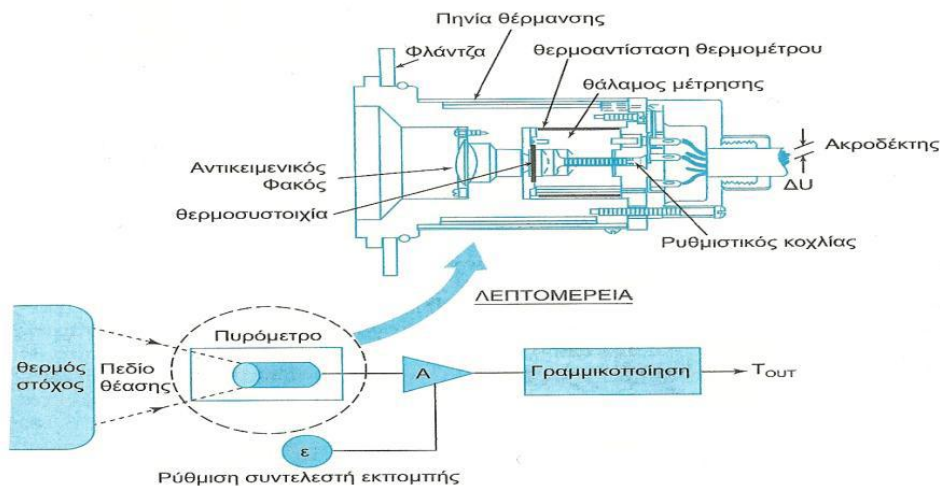
Η αξιοποίηση της παραπάνω ακτινοβολίας στην εστία του οργάνου για τη μέτρηση θερμοκρασιών μπορεί να γίνει εναλλακτικά με δύο, παρακάτω εξεταζόμενους, τρόπους:

1^{ος} τρόπος: με τη μετατροπή της σε θερμότητα και ακόλουθη μέτρηση της θερμοκρασίας του απορροφητή (πυρόμετρα απορρόφησης).

2^{ος} τρόπος: με άμεση οπτική σύγκριση (οπτικά πυρόμετρα).

5.1 Πυρόμετρα απορρόφησης

Όταν η θερμική ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα μέλαν σώμα τότε απορροφάται πλήρως και μετατρέπεται σε θερμότητα, θερμαίνοντας την επιφάνεια του. Σε πυρόμετρα απορρόφησης αυτό αξιοποιείται για την τηλεμέτρηση της θερμοκρασίας μίας επιφάνειας, έχοντας τοποθετημένο ένα στοιχείο απορρόφησης μαύρου χρώματος στην εστία του οπτικού συστήματος όπως στο παρακάτω σχήμα .

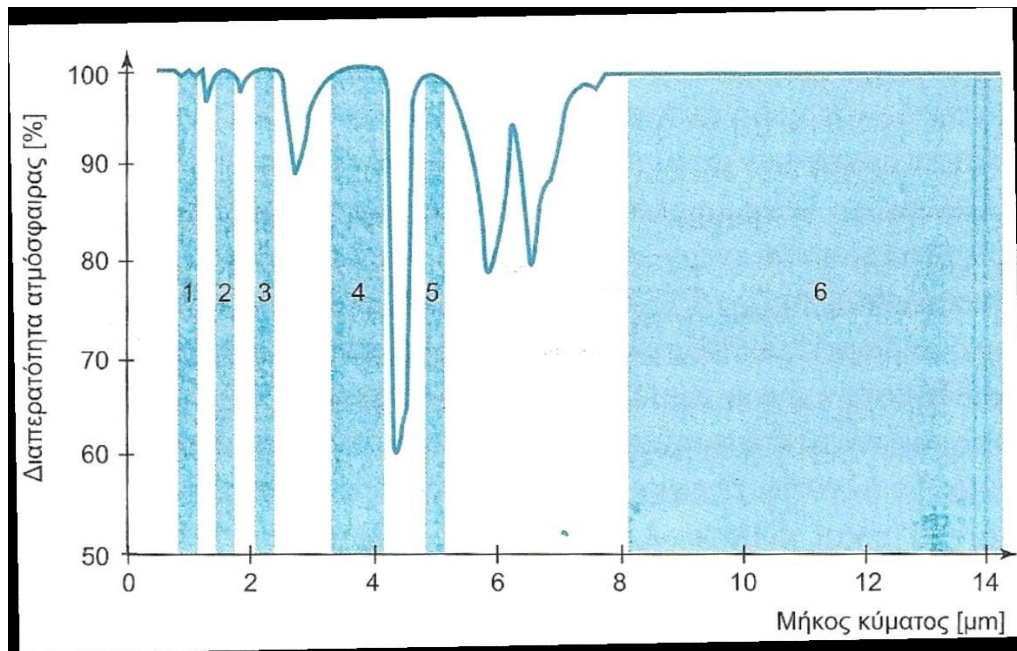


Σχήμα 5.2: Σχηματική διαδικασία θερμομέτρησης με πυρόμετρο ολικής ακτινοβολίας: ως λεπτομέρεια διακρίνεται ο αντικειμενικός φακός (lens) και η θερμοσυστοιχία στο εστιακό επίπεδο του.

Διακρίνονται οι τύποι πυρομέτρων απορρόφησης ολικής ακτινοβολίας και υπέρουθρης ακτινοβολίας. Ειδικότερα, ανάλογα με το εύρος της απορροφόμενης ακτινοβολίας διακρίνονται τα πυρόμετρα ευρείας (*wideband*) ζώνης περίπου 0.7-20μm και στενής (*narrowband*) επιλεκτικά ρυθμιζόμενης ζώνης. Σημειώνεται ότι η επιλογή των διαφόρων στενών ζωνών μέτρησης επηρεάζεται πρακτικά από το «παράθυρο ακτινοβολίας» της ατμόσφαιρας, δηλ. επιλέγονται ζώνες μέτρησης όπου απουσιάζει ή ελαχιστοποιείται η ατμοσφαιρική

Θέμα: Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές αισθητήρων θερμοκρασίας

απορρόφηση.



Σχήμα 5.3 Επιλογή στενών ζωνών λειτουργίας σε πυρόμετρα απορρόφησης, σε τμήματα της θερμικής ακτινοβολίας όπου απουσιάζει η ατμοσφαιρική απορρόφηση, με χρήση των ακόλουθων κατά περίπτωση φασματικά επιλεκτικών υλικών απορροφητή: 1. φωτοδίοδος Si, 2. φωτοδίοδος Ge, 3. φωτοδίοδος PbS, 4. φωτοδίοδος PbSe ή 5. μπολόμετρο.

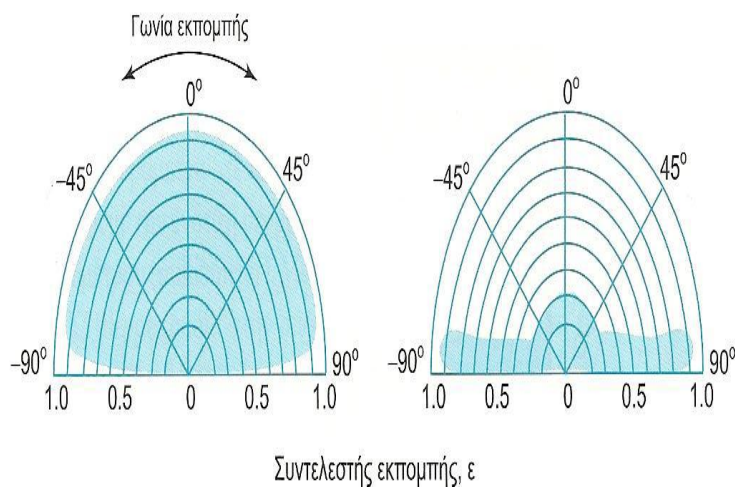
5.1.1 Αρχή λειτουργίας πυρομέτρων

Η αρχή λειτουργίας των πυρομέτρων απορρόφησης είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητή του οργάνου συγκριτικά με εκείνη του περιβάλλοντος αποτελεί μέτρο της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από το εξεταζόμενο σώμα, άρα και της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του απορροφητή του οργάνου γίνεται με διάφορες συστοιχίες μαύρου χρώματος, ήτοι αναλυτικότερα:

1. Με συστοιχία θερμοαντιστατικών αισθητήρων, όπως αντιστάσεις, θερμίστορ, θερμοδίοδοι. Στην περίπτωση αυτή το πυρόμετρο αποκαλείται επίσης μολόμετρο. Τα μολόμετρα βρίσκουν εξειδικευμένες χρήσεις στη πυρηνική φυσική για την ανίχνευση σωματιδίων (*particle detection*) και σε αστρονομικές παρατηρήσεις.
2. Με θερμοηλεκτρικούς αισθητήρες, δηλαδή εναλλακτικά με θερμοσυστοιχία θερμοζευγών ή με πυροηλεκτρική θερμοσυστοιχία (πυροηλεκτρικά πυρόμετρα).

Τα πυροηλεκτρικά πυρόμετρα μοιάζουν κατασκευαστικά με τα πυρόμετρα απορρόφησης, η διαφορά τους έγκειται στο ότι ο απορροφητής στην εστία συγκέντρωσης της θερμικής ακτινοβολίας είναι συστοιχία πυροηλεκτρικών αισθητήρων, που μετατρέπει μέρος της απορροφόμενης ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό. Η εμφανιζόμενη πυροηλεκτρική τάση είναι ανάλογη με την επιτύγχανα μένη θερμοκρασία του απορροφητή, έτσι με κατάλληλη ρύθμιση του οργάνου επιτυγχάνεται τηλεμέτρηση θερμοκρασιών. Τα πυροηλεκτρικά πυρόμετρα διαθέτουν μεγαλύτερη ευαισθησία από τα πυρόμετρα άλλων κατηγοριών, άρα η χρήση τους είναι δυνατή και για μέτρηση χαμηλότερων θερμοκρασιών.

Τα πυρόμετρα είναι συνήθως ρυθμισμένα για την μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός μέλανος σώματος. Συνεπώς, πριν τη χρήση σε μία πραγματική επιφάνεια, που διαθέτει γενικά συντελεστή εκπομπής $\varepsilon < 1$, πρέπει να προηγηθεί ρύθμιση του οργάνου για τη συγκεκριμένη επιφάνεια, ο συντελεστής εκπομπής της οποίας μπορεί να είναι γνωστός ή άγνωστος. Γενικότερα ο συντελεστής επιφάνειας εξαρτάται από το υλικό, το χρώμα, την οξείδωση και την επιφανειακή εν γένει κατεργασία, ενώ συχνά εμφανίζει σημαντική εξάρτηση από το μήκος κύματος και από τη γωνία εκπομπής.

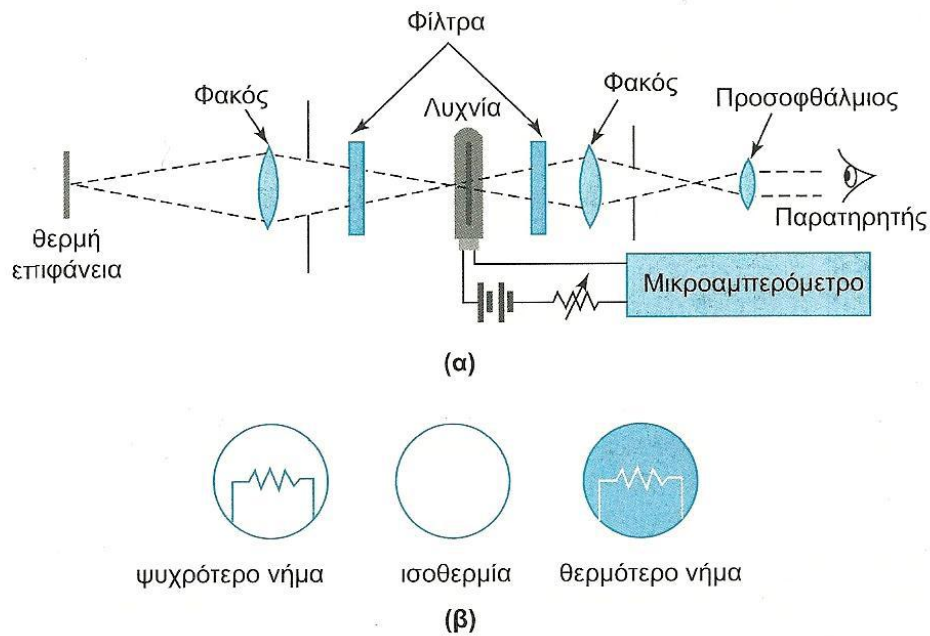


Σχήμα 5.4: Γωνιακή εξάρτηση του συντελεστή εκπομπής για μη μεταλλική και για γυαλισμένη μεταλλική επιφάνεια.

Για ακριβείς μετρήσεις επιβάλλεται μία αρχική μέτρηση της θερμοκρασίας με άλλο όργανο ικανοποιητικής ακρίβειας και η ακόλουθη ρύθμιση του πυρομέτρου, π.χ. με την εισαγωγή της σωστής τιμής του συντελεστή εκπομπής ε . Η παραπάνω διαδικασία πρέπει να επαναλαμβάνεται για κάθε νέα επιφάνεια με διαφορετικό συντελεστή εκπομπής, στοιχείο που αποτελεί μειονέκτημα στη χρήση των πυρομέτρων απορρόφησης.

5.2 Οπτικά πυρόμετρα

Τα οπτικά πυρόμετρα (Σχήμα 5.5) βασίζονται στη χρωματική σύγκριση της ορατής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ενσωματωμένη λυχνία πυράκτωσης με την εκπεμπόμενη από τη μετρούμενη θερμή επιφάνεια, προϋποθέτοντας ότι η τελευταία έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από τα 1000 Κ. Τα οπτικά πυρόμετρα στενής ζώνης διαθέτουν πίσω από τον αντικειμενικό φακό (*objective lens*) κατάλληλο φίλτρο στενής διέλευσης, που επιτρέπει τη δίοδο ακτινοβολίας μόνο στην περιοχή των 0.6μm- η ορατή ακτινοβολία περιέχεται στη ζώνη 0.38-0.78μm, Η μέτρηση είναι συγκριτική και υποκειμενική, βασιζόμενη στη χρήση μιας θερμοκρασίας αναφοράς που παρέχεται από ηλεκτρική λυχνία πυράκτωσης ρυθμιζόμενης φωτεινότητας, πάνω στην οποία σχηματίζεται ταυτόχρονα το οπτικό είδωλο της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη μετρούμενη επιφάνεια. Με ρύθμιση του ροοστάτη αυξομειώνεται η φωτεινότητα του διάπυρου νήματος μέχρις ότου επιτευχθεί ισοθερμία για εξάλειψη του ειδώλου μέσω του προσοφθάλμιου φακού (*eyepiece*), γι' αυτό τα οπτικά πυρόμετρα ονομάζονται και πυρόμετρα «εξαφάνιζόμενου νήματος».



Σχήμα 5.5: Οπτικό πυρόμετρο: α) σχηματική διάταξη μερών, β) οπτική σύγκριση θερμοκρασιών νήματος και μετρούμενης επιφάνειας

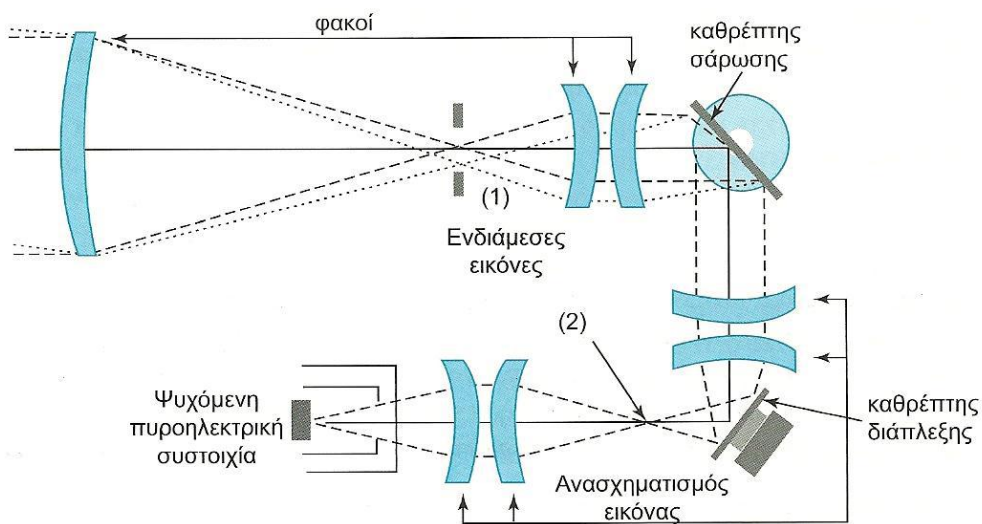
Στη θέση αυτή διαβάζουμε την ένδειξη θερμοκρασίας στη βαθμονομημένη κλίμακα του μικροαμπερομέτρου (*milliammeter*). Με οπτικά πυρόμετρα μετρούνται θερμοκρασίες από 775°C (θερμοκρασία στην οποία ένα σώμα έχει αρχίζει να εκπέμπει και ορατή θερμική ακτινοβολία) μέχρι περίπου 4200 °C.

5.2.1 Κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας (*infra-red temperature sensors*)

Οι αισθητήρες υπέρυθρου (*infra-red pyrometers*) αποτελούν μια προηγμένη μορφή πυρομέτρου απορρόφησης. Παρέχουν διαστάτες απεικονίσεις της θερμοκρασιακής κατανομής στο πεδίο θέασης του αντικειμενικού φακού. Η κατασκευή των αισθητήρων αυτών είναι βελτιστοποιημένη όχι μόνο για μέτρηση θερμοκρασιών αλλά και για θερμική απεικόνιση (*thermal imaging*), αξιοποιώντας τη σύλληψη και καταγραφή της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από όλα

Θέμα: Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές αισθητήρων θερμοκρασίας

πρακτικά τα επίγεια και τα ουράνια σώματα. Διαθέτουν οπτικό σύστημα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας ανάλογο με τις συμβατικές αναλογικές και ψηφιακές φωτογραφικές κάμερες, στο εστιακό επίπεδο του οποίου τοποθετείται μία συστοιχία (array) φωτοευαίσθητων πυροηλεκτρικών αισθητήρων.



Σχήμα 5.6 Απλοποιημένη παράσταση του συστήματος υπέρυθρης κάμερας εφοδιασμένης με ενεργητικά ψυχομένη συστοιχία

Το ηλεκτρικό φορτίο στα άκρα κάθε πυροηλεκτρικού κρυστάλλου της συστοιχίας παραλαμβάνεται και αξιοποιείται με πολύπλοκη ψηφιακή επεξεργασία, με τρόπο παρόμοιο με τις σύγχρονες ψηφιακές κάμερες, είτε με φωτοσυστοιχία CCD (charged-coupled device) ή CMOS (complementary metal oxide semiconductor). Μερικές φορές απαντώνται και συστοιχίες μπολομέτρων, δηλ. ευαίσθητων

θερμοαντιστάσεων όπως το οξείδιο του βαναδίου, καθώς και θερμοπυκνωτών βασιζόμενο στις μεταβολές των διηλεκτρικών ιδιοτήτων με τη θερμοκρασία.

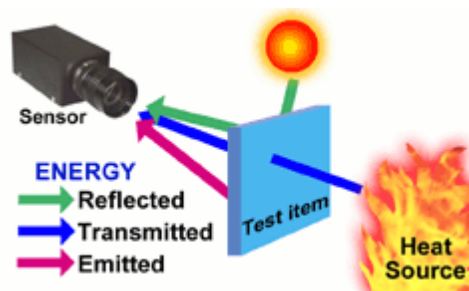
Πρόσθετες δυσκολίες στη σχεδίαση των υπέρυθρων καμερών θέτουν οι απαιτήσεις καλής θερμομόνωσης της θερμοσυστοιχίας για την αποφυγή απώλειας σήματος, η ανάγκη περιοδικής αποκοπής της έκθεσης (chopping) για τη δημιουργία ισχυρότερου σήματος, καθώς και η χρήση καθρεπτών σάρωσης (scanning) και διάπλεξης (interlacing).



Σχήμα 5.7 Διάφορα είδη υπέρυθρων αισθητήρων

5.2.2 Αρχή λειτουργίας αισθητήρων υπέρυθρου

Ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά τι συμβαίνει με τους αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού

φάσματος, το οποίο περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το ορατό φως, υπεριώδες φως καθώς τις ακτίνες γ και Χ.

Το μήκος κύματος των υπερύθρων κυμαίνεται μεταξύ των 700nm και 10^5 nm.Κάνοντας χρήση προηγμένων οπτικών συστημάτων και ανιχνευτών, ο αισθητήρας υπερύθρου μπορεί να επικεντρωθεί σε σχεδόν κάθε τμήμα ή κάποια τμήματα του συγκεκριμένου φάσματος. Ένα θερμόμετρο υπερύθρου (IR thermometer) μπορεί να συγκριθεί με ένα ανθρώπινο μάτι. Ο φακός του ματιού αντιστοιχεί στο φακό του αισθητήρα μέσω του οποίου η ακτινοβολία (ροή φωτονίων) από ένα αντικείμενο φθάνει σε ένα φωτοευαίσθητο δέκτη (βυθός ματιού - retina) για να μετατραπεί σε σήμα το οποίο στη συνέχεια στέλνεται στον εγκέφαλο. Οποιοδήποτε σώμα με θερμοκρασία υψηλότερη από το απόλυτο μηδέν ($-273,15$ °C) εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία η οποία εκφράζεται με τον συντελεστή εκπομπής ϵ . Για αυτό το λόγο η χρήση κάμερας θερμικής απεικόνισης είναι μία άριστη μέθοδος μέτρησης θερμικών μεταβολών.

5.2.3 Χρήσεις αισθητήρων υπερύθρου

Τα πυρόμετρα απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας βρίσκουν εφαρμογή στην προσεγγιστική τηλεμέτρηση της θερμοκρασίας θερμών εξωτερικών επιφανειών, π.χ. του μπλοκ μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, της πολλαπλής εξαγωγής (που είναι βέβαια κάπως μικρότερη, πλην όμως ενδεικτική της θερμοκρασίας των διερχόμενων καυσαερίων), των ελαστικών μετά από σκληρή χρήση κ.ά. Πυρόμετρα υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται επίσης για την ανίχνευση της παρουσίας επιβάτη για τον έλεγχο της ενεργοποίησης του αερόσακου, για την μέτρηση της επιδερμικής θερμοκρασίας κάθε επιβάτη προς αυτόματη ρύθμιση του κλιματισμού του οχήματος κ.α.

5.2.4 Πλεονεκτήματα υπέρυθρης τεχνολογίας

Υπάρχουν δύο τεχνολογίες για μέτρηση θερμοκρασίας σε επιφάνειες: Θερμόμετρα επαφής ή υπέρυθρα θερμόμετρα μη-επαφής. Τα μειονεκτήματα των θερμομέτρων επαφής είναι ότι προκαλούν ζημιές στις επιφάνειες, απαιτούν χρόνο προσαρμογής στις θερμοκρασίες για να παρέχουν ακριβή ανάγνωση και έχουν σύντομη διάρκεια ζωής στα σκληρά και οξειδωτικά, υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντα. Σε πολλές, επίσης, περιπτώσεις, ειδικά σε βιομηχανίες τροφίμων, απαιτείται να μην έρχεται τίποτα σε επαφή με το προϊόν, για λόγους υγιεινής. Για την πλειοψηφία των βιομηχανικών και εμπορικών εφαρμογών, η χωρίς επαφή υπέρυθη (IR) θερμομέτρηση είναι η καλύτερη επιλογή, δεδομένου ότι εξασφαλίζει ασφάλεια, ελαχιστοποιεί τα υλικά απόβλητα και οι έλεγχοι γίνονται πιο γρήγορα και πιο αποδοτικά. Αυτή η λύση επιτρέπει την ασφαλή, μη καταστρεπτική μέτρηση της θερμοκρασίας σε σημεία που είναι ευαίσθητα, κινούμενα, υψηλής τάσης, εξαιρετικά καυτά ή απρόσιτα. Τέλος ένα πολύ βασικό πλεονέκτημα της μέτρησης της θερμοκρασίας από απόσταση, είναι ότι μπορεί να γίνει καταγραφή της θερμοκρασίας ενός σώματος ενώ αυτό βρίσκεται εν κινήσει.

5.2.5 Παραδείγματα αισθητήρων υπερύθρου



LIT8 ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ LASER - SUPCO USA

Το θερμόμετρο υπερύθρης LIT8 με δείκτη laser επιτρέπει ακριβείς μετρήσεις από απόσταση.

Πανάλαφρο και πολύ εύχρηστο όργανο επιτρέπει λειτουργία με ένα χέρι και είναι ιδανικό για μια πλειάδα εφαρμογών όπως, παροχές και επιστροφές, πλακέτες, μετασχηματιστές, εύκαμπτοι αεραγωγοί και πολλά άλλα.

Αυτόματη κατακράτηση δεδομένων επιλογή °C ή °F,

Αυτόματο σβήσιμο και ένας χρόνος εγγύηση.

Εύρος μέτρησης θερμοκρασίας από -20 έως +420 °C, ανάλυση 1°C και χρόνος δείγματος, 1 sec.

Διατίθεται σε θήκη μεταφοράς και ζυγίζει μόλις 200 gr.



ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Όρια θερμοκρασίας αποθήκευσης: -45 έως 121 ° C (-50
έως 250 ° F)

Οπτικό πεδίο : 60 °

Διαστάσεις: 4,45 x 1,27 εκατοστά L Dia.

Στέγαση: από ανοξείδωτο χάλυβα, με παράθυρο πυριτίου,
ερμητικά έγκλειστα

Βάρος: 15g

5.3 Αισθητήρες οπτικών ινών

5.3.1 Γενικά

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτείται η μέτρηση της θερμοκρασίας αλλά απαγορεύεται αυστηρά η χρήση μεταλλικών αντικειμένων (σπάτουλες, λαβίδες, μεταλλικά φύλλα, θερμομέτρα υδραργύρου κλπ).

Σε μία τέτοια περίπτωση, η μέτρηση της θερμοκρασίας εκτελείται με ειδικούς αισθητήρες οπτικών ινών. Οι αισθητήρες οπτικών ινών μετρούν διάφορες παραμέτρους χρησιμοποιώντας λεπτές οπτικές ίνες ως το μόνο μέσο για τη διέγερση και ανάγνωση του αισθητήριου στοιχείου. Οι χρησιμοποιούμενες ίνες είναι οι ίδιες με αυτές των τηλεπικοινωνιών. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες που εξετάσαμε στις προηγούμενες ενότητες. Ένα παράδειγμα είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας στις περιελίξεις ενός μετασχηματιστή ισχύος υψηλής τάσης. Η τάση μπορεί να φθάνει έως και τα 500 kV, οπότε η χρήση αισθητήρων που επικοινωνούν με μεταλλικούς αγωγούς είναι αδύνατη για λόγους ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται αισθητήρες οπτικών ινών.

Οι οπτικές ίνες διαθέτουν διάφορα χαρακτηριστικά, τη μεταβολή των οποίων εκμεταλλευόμαστε για να τις χρησιμοποιήσουμε ως αισθητήρες. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι μικροκάμψεις (micro bendings), συμβολομετρικά φαινόμενα, η μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως, η αλλαγή της πόλωσης, η μεταβολή του μήκους κύματος, τα περιθλαστικά φράγματα καθώς και το φαινόμενο Sagnac το οποίο εφαρμόζεται για την ανίχνευση περιστροφικής κίνηση.

Η θερμοκρασία υπολογίζεται εμμέσα αφού μετρηθούν μεταβολές μήκους κύματος ή διαφορές φάσης και μετατραπούν σε θερμοκρασία, μέσω κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων.

5.3.2 Μέτρηση Θερμοκρασίας

Οι οπτικές ίνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες αυτόνομοι όπως για παράδειγμα τα διμεταλλικά θερμομέτρα, τα θερμοζεύγη ή τα RTD, επειδή χρειάζονται όπως αναφέραμε και στην παραπάνω παράγραφο κάποια οπτοηλεκτρονική διάταξη για να μετατρέψει την οπτική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα. Ας δούμε όμως αναλυτικότερα πως μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία με χρήση αισθητήρων οπτικών ινών σε μία περίπτωση όπου απαγορεύεται η εγκατάσταση καλωδίων.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας με οπτικές ίνες είναι μία τεχνική πολλά υποσχόμενη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πρόκειται για ένα είδος μέτρησης όπου δεν απαιτείται ηλεκτρισμός αλλά φως.

Το φως μεταφέρεται μέσω μιας γυάλινης ή πλαστικής οπτικής ίνας στον χώρο της πραγματικής μέτρησης όπου πρόκειται να μεταβληθεί η προς μέτρηση ποσότητα και στη συνέχεια επιστρέφει μέσω της ίδιας οπτικής ίνας ή ακόμη και μέσω μιας δεύτερης.

Το αντίστοιχο όργανο αντιλαμβάνεται την τιμή μέτρησης από την επιστρεφόμενη ποσότητα φωτός. Ένα παράδειγμα αποτελεί το όργανο *Lumitherm* που κατασκευάζεται από την αμερικάνικη εταιρία *Iritek*, το οποίο εκπέμπει φωτεινούς παλμούς από μία δίοδο LED μέσω μιας οπτικής ίνας στον ακροδέκτη μέτρησης και διεγείρει μία φθορίζουσα επιφάνεια. Η χρονική διάρκεια της φωτοεκπομπής εξαρτάται από τη θερμοκρασία, πράγμα που εκμεταλλευόμαστε για να κάνουμε μετρήσεις με τη βοήθεια του ανακλώμενου φωτός πίσω στο όργανο μέτρησης. Συστήματα του είδους αυτού στα οποία μία οπτική ίνα χρησιμοποιείται μόνο για την μεταφορά του φωτός, ονομάζεται εξωγενές σύστημα οπτικών ινών.

Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιήσουμε την ίδια οπτική ίνα ως στοιχείο εκτέλεσης μίας μέτρησης. Σε τέτοια ενδογενή συστήματα οπτικών ινών εκμεταλλευόμαστε την μικροσκοπική αλλά όχι αμελητέα επίδραση των εξωτερικών φυσικών φαινομένων στη διάδοση του φωτός μέσω της οπτικής ίνας.

Αν ληφθεί υπόψη ότι το ίδιο το φως είναι κύμα τότε μπορούμε να πετύχουμε

πολύ υψηλά επίπεδα ευαισθησίας και ανάλυσης. Σύμφωνα με μία ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική, μπορούμε να εγγράψουμε στα εσωτερικά τοιχώματα μιας οπτικής ίνας ένα πλέγμα τύπου *Bragg*. Ένα πλέγμα τύπου *Bragg* αποτελείται από επαναλαμβανόμενες περιοχές με υψηλό δείκτη διάθλασης που δημιουργείται με τη βοήθεια υπεριώδους ακτινοβολίας. Μία δέσμη φωτός μήκους κύματος που αντιστοιχεί ακριβώς στο διπλάσιο της βασικής απόστασης μεταξύ των περιοχών του παραπάνω πλέγματος, ανακλάται πίσω στην πηγή της δέσμης, ενώ οποιοδήποτε άλλο μήκος κύματος περνά χωρίς να υποστεί καμία επίδραση.

Πολλά φυσικά φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την διάδοση του φωτός μέσα από μία οπτική ίνα. Μεγέθη τα οποία μπορούν να μετρηθούν με τον τρόπο αυτό είναι η επιμήκυνση, η τάση εφελκυσμού, στάθμη υγρών, πίεση, γωνία περιστροφής, θερμοκρασία, ακτινοβολία ιόντων και πολλά άλλα. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή μία μεγάλη γκάμα διαφορετικών μετρήσεων κάτω από δυσμενείς συνθήκες, σε περιπτώσεις όπου παλιά η μέτρηση της θερμοκρασίας θεωρούνταν αδύνατη. Όπως για παράδειγμα μέσα σε μία γεννήτρια 1300MW.

5.3.3 Χρήσεις αισθητήρων οπτικών ινών

Η κατανεμημένη καταγραφή θερμοκρασίας μπορεί να επεκταθεί επιτυχώς σε διαδικασίες σχετικές με:

- Εξερεύνηση πετρελαίου & αερίου - μόνιμος έλεγχος κατά μήκος της τρύπας εξόρυξης
- Έλεγχος γραμμών καλωδίων
- Πυρανίχνευση σε σήραγγες και κτίρια
- Βιομηχανική επιτήρηση φούρνων επαγωγής
- Έλεγχος θερμοκρασίας στις εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των σωληνώσεων μετάδοσης
- Δεξαμενές αποθήκευσης σε σκάφη

5.3.4 Παραδείγματα αισθητήρων με οπτική ίνα

Ένα παράδειγμα αισθητήρα θερμοκρασίας με οπτική ίνα το οποίο μπορούμε να συναντήσουμε στο εμπόριο είναι το ακόλουθο:

Η παρακάτω οπτικοηλεκτρονική διάταξη μπορεί να χαρακτηριστεί από μία σειρά δυνατοτήτων όπως για παράδειγμα να μπορεί να κάνει καταγραφή της θερμοκρασίας με οπτική ίνα μήκους τεσσάρων χιλιομέτρων μετατρέποντας την οπτική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα.



Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Αποθήκευση θερμοκρασιών από -15 έως 65 ° C

Σχετική υγρασία: 5% έως 95%

Θερμοκρασία περιβάλλοντος από 0 μέχρι 40 ° C

Βάρος: 9Kg

Ύψος: 87mm

Πλάτος: 435mm

Μήκος: 445mm

Βιβλιογραφία

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.metal.ntua.gr/uploads/2423/11.ppt
2. www.vt.teithe.gr/t/prapas/files/Aisthithires_No1.pdf
3. www.sigmahellas.gr/index.php?...
4. [www.istos-lab.gr/.../ΤΕΧΝΙΚΕΣ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-PT100-ΣΚΙΑΔΙΟ-FINAL .pdf](http://www.istos-lab.gr/.../ΤΕΧΝΙΚΕΣ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-PT100-ΣΚΙΑΔΙΟ-FINAL.pdf)
5. repository.upatras.gr/dspace/bitstream/1987/116/1/SensorNotes.pdf
6. shop.soldatos.gr/index.php?sort...id...
7. ftp://150.140.215.51/disk1/e-books/.../Arxes_aytomatismou_kef04.doc
8. www.essolutions.eu/kesen/ΣΑΕ-B-2010_2011-verb.pdf
9. www.ele.teipat.gr/bisdounis/D06.pdf
10. www.howstuffworks.com/therm2.htm
11. www.temperatures.com/filledvendors.html
12. www.sigmahellas.gr/index.php?lang=l&thecatid=5&thesubcatid=l04
13. www.ics.forth.gr/~tsakalid/PAPERS/Soroptimists_07052004.ppt
14. www.electroniccircuits.gr/antistaseis.html
15. users.ntua.gr/ge01009/.../34-Baumontomhsh_uermozeygoys.pdf
16. www.texnologia.org/filla/c_gymnasiou/5%20Exartiml.doc

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P.Elgar, Αισθητήρες και Μετρήσεις Ελέγχου
2. Albert Paul Malvino, Βασική ηλεκτρονική