

ΘΕΡΜΟΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη) και των αγωγών (μικρή) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Τα Θερμιστορ είναι όργανα με ηλεκτρική αντίσταση που αλλάζει με τη θερμοκρασία. Το όνομα τους προέρχεται από τον όρο “Θερμικά ευαίσθητες αντιστάσεις”. Ανακαλύφθηκαν από τον Faraday (1883) και χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά μετά 1930. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως

- Αισθητήρες θερμοτήτας
- Περιοριστές ρεύματος (current limiters)

Η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από το υλικό κατασκευής. Ο κατασκευαστής βαθμονομεί το θερμιστορ ώστε να έχουμε μεγάλη ακρίβεια μέτρησης σε θερμοκρασίες $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες θερμιστορ :

- **NTC**, Η αντίσταση **μειώνεται** με την αύξηση της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιείται ως ασφάλεια σε κυκλώματα για υπέρταση.
- **PTC**, Η αντίσταση **αυξάνει** με την αύξηση της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιείται ως ασφάλεια σε κυκλώματα για υπερβολική αύξηση της έντασης του ρεύματος.

Τα NTC θερμιστορ έχουν ισχυρή μη-γραμμική μεταβολή στην ηλεκτρική αντίσταση (Μείωση της αντίστασης με αύξηση της θερμοκρασίας). Τα βασικά χαρακτηριστικά τους που τα καθιστούν ανταγωνιστικά είναι:

- Οι μεγάλες αλλαγές της αντίστασης για κάθε βαθμό θερμοκρασίας παρέχει μεγάλη ακρίβεια
- Μεγάλος βαθμός επαναληψιμότητας
- Μικρό μέγεθος που σημαίνει γρήγορη απάντηση στις αλλαγές θερμοκρασίας.

Υλικά κατασκευής

Κατασκευάζονται από μίγματα οξειδίων μαγνησίου, κοβαλτίου, νικελίου, τιτανίου, χαλκού τα οποία κονιοποιούνται και ομογενοποιούνται μέσω παροχής θερμότητας και ασκήσης πίεσης, χωρίς να προσεγγίζεται το σημείο τήξης (sintering).

Σημαντικό μειονέκτημα θερμιστορ

Αυτοθέρμανση (Thermistor self heating effect)

Η μέτρηση της θερμοκρασίας με χρήση θερμιστορ γίνεται με ένταξη του σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η μεταφερόμενη ισχύς είναι:

$$P=I*V$$

όπου I (Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος) και V (Τάση). Λογω του φαινομένου Joule μια αντιστάση που διαρρέεται απο ρευμα θερμαινεται οποτε μεταβαλλεται η θερμοκρασια του θερμιστορ. Γενικα η ηλεκτρικη αντιστάση του θερμιστορ συνδεεται με τη θερμοκρασια του με την ακολουθη σχεση.

$$\ln \frac{R(T)}{R_o} = \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)$$

T : Θερμοκρασια θερμιστορ

R : Ηλεκτρικη αντιστάση

T_o : Θερμοκρασια αναφορας (T = 298 K = 25° C)

R_o : Ηλεκτρικη αντιστάση σε θερμοκρασια T_o

Ενω αρχικα η T ειναι η θερμοκρασια του υλικου που επιθυμουμε (ιδανικα αυτη του θερμιστορ) τελικα με την παροδο του χρονου η T γινεται λιγο μεγαλυτερη (λογω της αυτοθερμανσης του θερμιστορ) εισαγοντας σφαλμα στους υπολογισμους.

1. ΘΕΡΜΟΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Τα άκρα ενός ηλεκτρικού αγωγού σε συνήθεις θερμοκρασίες προβάλλουν αντίσταση R (σε Ω) στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που ορίζεται σύμφωνα με τον γνωστό νόμο του Ohm απο τη σχέση , R=V/I, όπου I και V το ρεύμα (Ampere) και η διαφορά δυναμικού (Volt) στα άκρα του. Η ηλεκτρική αντίσταση του αγωγού (σε μΩ) δίδεται από την σχέση

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (6)$$

οπου ρ, L και A η ειδική αντίσταση (μΩ.m), το μήκος (m) και το εμβαδόν της επιφάνειας διατομής (m²) του αγωγού. Εντούτοις έχει διαπιστωθεί ότι η αντίσταση R ενός αγωγού μεταβάλλεται με την θερμοκρασία t, από τον νόμο,

$$R = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot t + b \cdot t^2) \Rightarrow \rho = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot t + b \cdot t^2) \quad (7)$$

οπου R_o , ρ_o η αντίσταση και η ειδική αντίσταση αντιστοιχως στην θερμοκρασία t_o (συνήθως 0 ή 25 C) και α, b προσδιορίσιμες πειραματικές σταθερές. Για μεταλλικούς αγωγούς λαμβάνεται κατά προσέγγιση, b=0 και άρα

$$R = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad (8)$$

όπου α ο γραμμικός θερμοκρασιακός συντελεστής ηλεκτρικής αντίστασης (K⁻¹), συγκριτικές τιμές του οποίου για διαφορετικά υλικά δίδονται στον πίνακα 1.

Αν R₁ και R₂ οι τιμές που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες t₁ και t₂ , από την (8) προκύπτει,

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_o \cdot (t_2 - t_1)}$$

που είναι η σχέση ορισμού του γραμμικού θερμοκρασιακού συντελεστή αντίστασης και ισχύει για σχετικά μικρό θερμοκρασιακό εύρος τιμών.

Ευαισθησία του θερμοκρασιακού αισθητήρα ηλεκτρικής αντίστασης είναι σε αναλογία με τον αντίστοιχο ορισμό για θερμοζεύγη από την σχέση (4), το μέγεθος που ορίζεται σαν,

$$S = \frac{dR}{dt} \tag{9}$$

Από τις (8) και (9) προκύπτει ότι,

$$S = \alpha \cdot R_0 \tag{10}$$

που εκφράζεται σε (Ω/K) και φανερώνει το μέτρο της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης του αισθητήρα ανα βαθμό μεταβολής θερμοκρασίας. Με βάση τις τιμές του πίνακα 4 προκύπτει ότι για ένα τυποποιημένο αισθητήρα πλατίνας $R_0=100 \Omega$ προκύπτει ευαισθησία της τάξεως των 0.39 Ω/K.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Συγκριτικός πίνακας τιμών ειδικής αντίστασης ρ ($\mu\Omega.m$) και γραμμικού θερμοκρασιακού συντελεστή αντίστασης α (K^{-1}) διαφόρων υλικών

A/A	Υλικό	Γραμμ. Θερμοκρ. συντελ. αντίστασης α (K^{-1})	Ειδική αντίσταση ρ ($\mu\Omega.m$) (στούς 25 C)
1	Αλουμίνιο	0.004	280
2	Νικέλιο	0.0067	680
3	Σίδηρος (99.8%)	0.005	1000
4	Χαλκός	0.004	170
5	Μόλυβδος	0.0042	2060
6	Αργυρος	0.0038	159
7	Χρυσός	0.0036	245
8	Πλατίνη (99.85%)	0.0039	1106
9	Tungsten	0.0048	560
10	Μανγκανίνη (Manganin)	0.00002	440
11	Ανθρακας	-0.0007	140000
12	Ηλεκτρολύτες	-0.02 έως -0.09	Μεγάλο εύρος
13	Ημιαγωγοί (thermistors)	-0.068 έως 0.14	10^{11}

Από τον προηγούμενο πίνακα φαίνεται η θετική τιμή του α (K^{-1}) για μεταλλικά υλικά και κράματα μετάλλων που σημαίνει αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης των αγωγών με την θερμοκρασία τους. Σε αντίθεση με αυτά παρατηρείται αρνητική τιμή για ημιαγωγούς γεγονός που οδηγεί σε μείωση της ηλεκτρικής τους αντίστασης με την θερμοκρασία.

Αν και τα περισσότερα μεταλλικά υλικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σαν θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης ή θερμοκρασιακοί αισθητήρες αντίστασης (Resistance Temperature Detectors, RTD), στις εφαρμογές συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά όπως πλατίνη, νικέλιο και χαλκός λόγω των πλεονεκτημάτων της παραγωγής τους με πολύ υψηλή καθαρότητα που εγγυάται αξιοπιστία φυσικών

και θερμοηλεκτρικών χαρακτηριστικών.

Ειδικότερα το μειονέκτημα στη χρησιμοποίηση του χαλκού αφορά την μικρή ειδική του αντίσταση και την μικρή ανθεκτικότητα σε χημική διάβρωση. Σήμερα οι αισθητήρες RTD πλατίνης χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην βιομηχανία και η κατασκευή τους καλύπτεται τόσο από εθνικά πρότυπα όπως και από διεθνή τυποποίηση (ISO).

Εναλλακτικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ημιαγωγοί μίγματος μεταλλικών οξειδίων σε αντικατάσταση των χρησιμοποιούμενων καθαρών μεταλλικών υλικών όπως πλατίνη ή νικέλιο για την κατασκευή αισθητήρων RTD. Η χρησιμοποίηση μίγματος οξειδίων Κοβαλτίου, χαλκού, Μαγνησίου, Τιτανίου, Βαναδίου, Ψευδαργύρου κλπ είναι δυνατόν να οδηγήσει σε ημιαγωγά υλικά με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας και επιθυμητές ιδιότητες για την κατασκευή αισθητήρων.

Η ιδιαίτερη κατηγορία αυτών των θερμομέτρων ηλεκτρικής αντίστασης (RTD) που γνωρίζει μεγάλη εξάπλωση στον χώρο της έρευνας και της βιομηχανίας είναι γνωστή σαν αισθητήρες Thermistor. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 έχουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας (negative temperature coefficient, NTC) και η μεταβολή της ηλεκτρικής τους αντίστασης με την θερμοκρασία είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερη εκείνης των μετάλλων. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μη γραμμική τους συμπεριφορά ως προς την θερμοκρασία, που εντούτοις δεν αποτελεί πρόβλημα εξαιτίας της ευχέρειας γραμμικοποίησης της συμπεριφοράς τους από τα σύγχρονα μετρητικά συστήματα. Η μη γραμμική θερμοκρασιακή εξάρτηση της ηλεκτρικής τους αντίστασης είναι δυνατόν να διατυπωθεί από την ακόλουθη σχέση,

$$R(T) = R_0 e^{\frac{\beta}{T}} \quad (11)$$

Όπου οι παράμετροι R και β που εκφράζονται σε (Ω) και (K) αντιστοίχως, αποτελούν κατάλληλες διαστατές σταθερές, με την μεταβλητή T να παριστά την απόλυτη θερμοκρασία (K). Συνήθως είναι γνωστή η αντίσταση του αισθητήρα, έστω R₀ σε μια δεδομένη απόλυτη θερμοκρασία T₀, σε τρόπο ώστε

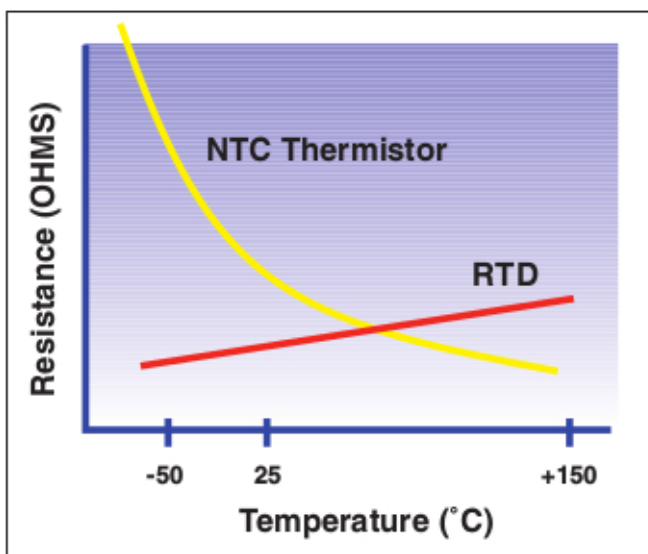


Figure 20: Resistance vs. Temperature graph for an NTC Thermistor vs. an RTD

$$R(T_o) = R_o = R_o \cdot e^{\frac{\beta}{T_o}} \Rightarrow R = R_o \cdot e^{-\frac{\beta}{T_o}} \quad (12)$$

Από τις (11) και (12) προκύπτει,

$$R(T) = R_o \cdot e^{\frac{\beta}{T} - \frac{\beta}{T_o}} \quad (13)$$

Και με λογαρίθμηση προκύπτει από την (13) ότι,

$$\ln R(T) = \ln R_o + \beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (14)$$

από την οποία προκύπτει,

$$\ln \frac{R(T)}{R_o} = \beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (15)$$

Από την προηγούμενη σχέση που παριστά ευθεία γραμμή σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με άξονες $\ln R(T)$ και $(1/T - 1/T_o)$, προκύπτει ότι η σταθερή β (χαρακτηριστική θερμοκρασία) είναι δυνατόν να προσδιορισθεί από την κλίση της ευθείας γραμμής που προκύπτει από την γραφική παράσταση του λογαρίθμου των τιμών μετρήσεων $R(T)$ συναρτήσει των αντιστοιχών τιμών $(1/T - 1/T_o)$.

Εναλλακτικά αν για τις απόλυτες θερμοκρασίες T_1 και T_2 προσδιορισθούν οι αντίστοιχες αντιστάσεις R_1 και R_2 , θα ισχύει,

$$R(T_1) = R_1 = R_o \cdot e^{\frac{\beta}{T_1} - \frac{\beta}{T_o}} \quad (16)$$

$$R(T_2) = R_2 = R_o \cdot e^{\frac{\beta}{T_2} - \frac{\beta}{T_o}} \quad (17)$$

Με λογαρίθμηση των (15) και (16) προκύπτει η τιμή της χαρακτηριστικής θερμοκρασίας $\beta(T)$

$$\beta = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (18)$$