

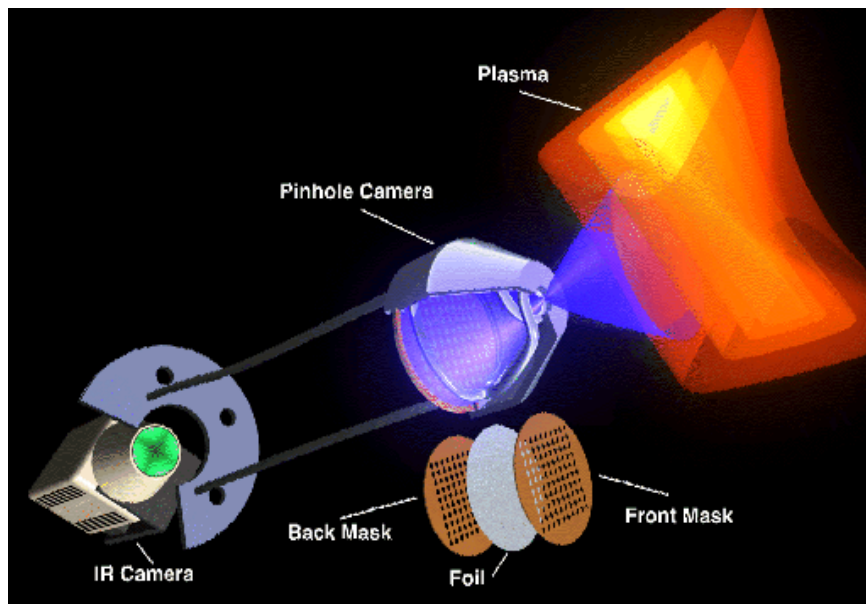
ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:

1) ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ - ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ

2) ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ – 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	4
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ	4
1.1 Η επίδραση της αυτοθέρμανσης.....	4
1.2. Δομή και λειτουργία ενός PTC Θερμίστορ	5
1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ PTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	7
α) Προστασία ρεύματος.	7
β) Ανίχνευση θερμοκρασίας.	9
γ) Αυτορρυθμιζόμενη Θέρμανση.	10
δ) Αυτόματη απομαγνήτιση	10
ε) Έναρξη μηχανών	11
στ) Αντίληψη υγρού επιπέδου / ροής αέρα	11
ζ) Σταθερό ρεύμα	12
η) Αντιστάθμιση και μέτρηση θερμοκρασίας.....	12
θ) Προστασία από το ρεύμα.....	13
1.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ PTC	14
1.4.1 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ PTC Δίσκου	14
1.4.2 PTC Θερμίστορ πυριτίου	17
1.5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	20
1.6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	21
1.6.1 Βασικά χαρακτηριστικά των NTC θερμίστορ.	22
1.6.2. Επιλογή NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	22
1.6.3 Στοιχεία γραμμικής απόκρισης σε σύγκριση με τα Ηλεκτρόδια των θερμίστορ.	23
α) Καμπύλες ανοχής – θερμοκρασίας:	23
β) Ονομαστική τιμή αντίστασης:.....	24
γ) Ανοχή αντίστασης.....	24
δ) Ανοχή βήτα.....	24
1.7. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	25
1.7.1 Εξίσωση Steinhart-Hart.....	25
1.7.2 Εξίσωση παραμέτρου B.....	27
1.7.3 NTC θερμίστορ – Υπολογισμός του Βήτα.....	28
1.7.4 Κατανάλωση ισχύος κυκλωμάτων και ανίχνευσης θερμοκρασίας... 29	
1.7.5 NTC θερμίστορ – Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω της γέφυρας Wheatstone.	29
1.7.6 Υπολογισμός του Συντελεστή Θερμοκρασίας ενός Θερμίστορ.	31
1.7.7 Κυκλώματα Αντιστάθμισης Θερμοκρασίας.	32
1.7.8 Ικανότητα Χειρισμού Ενέργειας	34
1.8. Αισθητήρες Θερμίστορ NTC: Εφαρμογές	35
1.8.1 Αισθητήρες NTC Thermistor για μέτρηση αερίων/ θερμοκρασία του αέρα.....	35
1.8.2 Αισθητήρες NTC Thermistor για μέτρηση θερμοκρασιών Υγρών	36
1.8.3 NTC θερμίστορ για Εμπορικούς και Στρατιωτικούς σκοπούς.....	36
1.8.4 Αισθητήρες NTC Thermistor. Άλλες εφαρμογές.	37

1.8.5 NTC Έλεγχοι θερμικών αντιστάσεων.....	37
1.8.6 Άλλες χρήσεις ενός NTC θερμίστορ.....	39
1.9 Αξιοπιστία ενός NTC Θερμίστορ.....	39
1.10. ΡΕΥΜΑ ΕΙΣΡΟΗΣ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	40
.....	40
1.10.1 Επιλέγοντας έναν περιοριστή εισροής ρεύματος.....	40
1.10.2 Ρεύμα εισροής.....	41
1.10.3 Προστασία εισροής ρεύματος.....	42
1.10.4 Παθητική ή ενεργή προστασία για ρεύμα εισροής.....	42
1.10.5 Τι είναι ο περιοριστής εισροής ρεύματος σε μία θερμική αντίσταση –.....	43
1.10.6 Τύποι ρεύματος εισροής που περιορίζονται για τις θερμικές αντιστάσεις.....	43
1.10.7 Είναι τα NTC Thermistors κοινά για την προστασία εισροής ρεύματος;.....	43
1.10.8 Χρόνος αποκατάστασης από έναν περιοριστή εισροής ρεύματος..	43
1.10.9 Πλεονεκτήματα NTC thermistors για περιορισμό εισροής ρεύματος	44
α) Ενεργά κυκλώματα για το ρεύμα εισροής.....	44
β) Συνδυασμός NTC θερμίστορ και ενεργών κυκλωμάτων.....	45
γ) Ειδικό ρεύμα εισροής ορίου θερμικών αντιστάσεων.....	46
1.11 Θερμική Χρονική Σταθερά.....	47
1.11.1 Μελέτη περίπτωσης, Ρεύμα εισροής σε μετασχηματιστές.....	48
1.12. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	49
NTC θερμίστορ. Βεβαίωση των ακριβών μετρήσεων	49
1.12.1 Επίδραση του στελέχους βύθισης.....	49
1.12.2 Περιορισμός της επίδρασης του στελέχους βύθισης.....	50
1.13. ΣΕΙΡΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	50
1.13.1 Γρήγορη αποσύνδεση.....	51
1.13.2 Στοιχεία θερμίστορ ακριβείας σειράς 44000.....	52
1.13.3 Γραμμικά εξαρτήματα θερμίστορ, ηλεκτρόδια και εφαρμογές.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΥΣ.....	61
(THERMOCOUPLE).....	61
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ THERMOCOUPLE.....	61
2.1.1 Αρχή της λειτουργίας.....	61
2.1.2 Σύνδεση.....	62
2.1.3 Σχέση Τάσης – Θερμοκρασίας.....	63
2.1.4 Το θερμοζεύγος κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας	63
2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ THERMOCOUPLE.....	65
Τεχνικά στοιχεία αναφοράς θερμοηλεκτρικών ζευγών.....	65
2.2.1 Μέγεθος καλωδίων του θερμοηλεκτρικού ζεύγους:.....	66
2.2.2 Μήκος του ελέγχου θερμοηλεκτρικών ζευγών.....	66
2.2.3 Θέση του θερμοηλεκτρικού ζεύγους.....	66

2.3. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ THERMOCOUPLE...	66
2.4. ΑΣΦΑΛΕΙΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ THERMOCOUPLE Ασφάλεια συσκευών θέρμανσης.	71
2.4.1 Αρχές συνδέσεων αναφοράς	72
2.4.2 Ηλεκτρική μέθοδος γεφυρών.	73
2.4.3 Θερμοηλεκτρική μέθοδος ψύξης.	73
2.5. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ THERMOCOUPLE	75
2.6 Ορισμοί συντελεστών λειτουργίας αναφοράς	88
RFA Μονωμένο ενιαίο σκέλος.	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΟΛΟΜΕΤΕΡS	99
3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΒΟΛΟΜΕΤΕR	99
3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΒΟΛΟΜΕΤΕR	102
3.2.1 Ψύξη	102
3.2.2 Σύνδεση	103
3.2.3 Παρατήρηση	103
3.2.4 Αφαίρεση	103
3.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΒΟΛΟΜΕΤΕR	105
3.4. ΜΙCΡΟΒΟΛΟΜΕΤΕR	106
3.5.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	108
ΑΠΟ ΒΟΛΟΜΕΤΕR ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ	108
3.5.1. Εισαγωγή	108
3.5.2 Bolometer Θερμικό πρότυπο	109
3.5.3 Bolometer Χαρακτηρισμός	113
3.5.4 Πρότυπη συναρμολόγηση σε μια ενιαία καμπύλη φορτίων	114
3.5.5 Μη γραμμική συναρμολόγηση στο φορτίο καμπυλών	115
3.6 Πρότυπο δύο σταδίων συναρμολόγησης στο φορτίο καμπύλης “families”	119
3.7 Ο ρόλος των μη εφαρμόσιμων καμπύλων φορτίων	122
3.8 Εφαρμογή του προτύπου σε αυθαίρετες τιμές To.	123
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
THERMISTOR	125
THERMOCOUPLE	125
ΒΟΛΟΜΕΤΕR	125

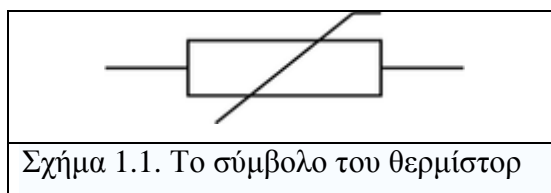
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Τα θερμίστορ είναι ειδικοί στερεοί αισθητήρες θερμοκρασίας που συμπεριφέρονται όπως οι θερμοκρασιακά ευαίσθητοι ηλεκτρικοί αντιστάτες. Το όνομά τους αποτελεί συνδυασμό του «θερμικού» και του «αντιστάτη». Υπάρχουν βασικά, δύο ευρείς τύποι:

1. Τα NTC (Negative Temperature Coefficient) – Αρνητικού Συντελεστή Θερμοκρασίας, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την μέτρηση της θερμοκρασίας,
2. Τα PTC (Positive Temperature Coefficient) – Θετικού Συντελεστή Θερμοκρασίας, που χρησιμοποιούνται συνήθως στον έλεγχο ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι συνήθως πολύ μικρά κομμάτια ειδικού υλικού όπου επιδεικνύουν κάτι περισσότερο από απλή θερμοκρασιακή ευαισθησία. Είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες διατάξεις και εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση στις ιδιότητες τους. Χρησιμοποιούνται μέσα σε πολλές άλλες ως συσκευές ανάγνωσης και διόρθωσης της θερμοκρασίας καθώς και σε ειδικούς ελέγχους θερμοκρασίας τόσο σε ιατρικό, επιστημονικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο.

Μερικά από τα μοντέρνα ψηφιακά ιατρικά θερμόμετρα, τα οποία μετρούν την θερμοκρασία ερχόμενα σε επαφή με το στόμα του ασθενή, είναι βασισμένα στα θερμίστορ. Τα θερμίστορ λειτουργούν πέρα από ένα σχετικά μικρό εύρος θερμοκρασιών, συγκρινόμενα με άλλους θερμικούς αισθητήρες, και μπορούν γενικά να είναι πολύ ακριβή μέσα σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά όρια.



1.1 Η επίδραση της αυτοθέρμανσης

Όταν το ρεύμα διατρέχει ένα θερμίστορ, παράγει θερμότητα, η οποία θα αυξήσει την θερμοκρασία του πάνω από την θερμοκρασία του περιβάλλοντός του. Αν το θερμίστορ χρησιμοποιείται για να μετρήσει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η αυτοθέρμανσή του θα προκαλέσει ένα σφάλμα εάν δεν γίνει μια διόρθωση. Εναλλακτικά, αυτή η επίδραση μπορεί να είναι υιοθετημένη. Η ισχύς εισόδου στο θερμίστορ είναι:

$$P_E = I V \quad (1)$$

όπου I είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και V η πτώση τάσης στο θερμίστορ. Η ισχύς αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα, και η θερμική ενέργεια με τη σειρά της μεταφέρεται στο περιβάλλον. Το ποσοστό μεταφοράς περιγράφεται από τον Νόμο ψύξης του Νεύτωνα:

$$P_T = K(T_{(R)} - T_0) \quad (2)$$

όπου $T_{(R)}$ είναι η θερμοκρασία λειτουργίας της αντίστασης R , T_0 η θερμοκρασία περιβάλλοντος, και K η σταθερά διασκεδασμού, συνήθως εκφρασμένη σε $\text{mW} / ^\circ\text{C}$. Στην ισορροπία τα δύο ποσοστά πρέπει να είναι ίσα, δηλαδή.

$$P_E = P_T \quad (3)$$

Η ένταση και η τάση στο θερμίστορ εξαρτώνται από την ιδιαίτερη διαμόρφωση των κυκλωμάτων. Ένα απλό παράδειγμα: αν η τάση του θερμίστορ διατηρείται σταθερή, τότε χρησιμοποιώντας και τον Νόμο του Ohm $I=V/R$ η εξίσωση λυμένη ως προς την θερμοκρασία περιβάλλοντος γίνεται:

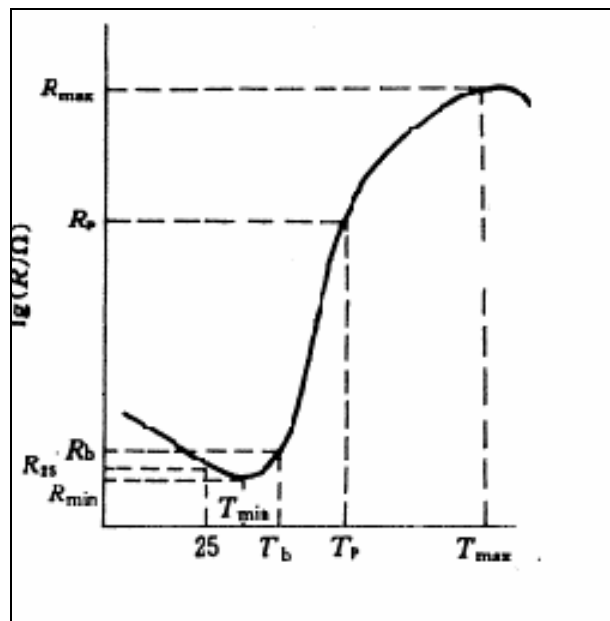
$$T_0 = T_{(R)} - V^2 / K R \quad (4)$$

Η σταθερά K είναι ένα μέτρο σύνδεσης της θερμότητας του θερμίστορ με το περιβάλλον του. Οι χαρακτηριστικές τιμές για ένα μικρό θερμίστορ είναι $1.5 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ στον αέρα $6.0 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ στο αναδευμένο λάδι. Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι γνωστή εκ των προτέρων, τότε ένα θερμίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει την τιμή της σταθεράς διασκεδασμού. Παραδείγματος χάριν, το θερμίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας ποσοστού ροής, δεδομένου ότι η σταθερά διασκεδασμού αυξάνεται με το ποσοστό ροής ενός ρευστού.

1.2. Δομή και λειτουργία ενός PTC Θερμίστορ

Το PTC θερμίστορ (Θετικός Συντελεστής Θερμοκρασίας της Αντίστασης) είναι ένα είδος θετικής θερμικής αντίστασης, κυρίως φτιαγμένο από BaTiO_3 κεραμικό. Το BaTiO_3 κεραμικό είναι ένα είδος χαρακτηριστικού σιδηροηλεκτρικού υλικού με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ υπό κανονική θερμοκρασία. Μέσω ενός ημιαγωγού που το επηρεάζει, εμφανίζει ισχυρή αποτελεσματικότητα, παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή αντίσταση υπό την κανονική θερμοκρασία, αλλά εμφανίζει μια ξαφνική και μεγάλη μεταλλαγή γύρω από την θερμοκρασία Curie καθώς η περιβαλλοντική θερμοκρασία αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει διότι ένα στρώμα εμποδίων, προκληθέντα από την επιφάνεια, εμφανίζονται στα σύνορα μορίων των κρυστάλλων του πολυκρυσταλλικού BaTiO_3 ημιαγωγικού υλικού. Κάτω από την θερμοκρασία Curie, το μεγάλης αντίστασης κρυσταλλικό όριο εμφανίζει σιδηροηλεκτρικά χαρακτηριστικά με μεγάλη διηλεκτρική σταθερά, έτσι τα ηλεκτρόνια μπορούν εύκολα να

διαπεράσουν τα πιθανά εμπόδια και τα αντίστοιχα υλικά έχουν χαμηλά ειδική αντίσταση. Πάνω από την θερμοκρασία Curie, το δικτυωτό κρυσταλλικό πλέγμα εμφανίζεται στο υψηλής αντίστασης στρώμα και οι σιδηροηλεκτρικές σταθερές μειώνονται γρήγορα. Το πιθανό εμπόδιο αυξάνεται επειδή η διηλεκτρική σταθερά μειώνεται σύμφωνα με τον νόμο των Curie-Weiss. Με την δραματική αύξηση του ύψους των εμποδίων, γίνεται δύσκολο για τα ηλεκτρόνια να διαπεράσουν το πιθανό εμπόδιο και η ειδική αντίσταση των αντίστοιχων υλικών αυξάνει εντυπωσιακά. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, τα PTC θερμίστορ είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα στις βιομηχανικές ηλεκτρονικές συσκευές αλλά και στις συσκευές εξοπλισμού ενός νοικοκυριού. Το εύρος λειτουργίας τους ταξινομείται λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τρεις βασικές ηλεκτρονικές αποδόσεις των PTC θερμίστορ. Οι θεμελιώδεις παράμετροι υποδεικνύονται στο ακόλουθο διάγραμμα



Σχήμα 1.2: Παράμετροι Θερμίστορ. R_n - Θερμοκρασία δωματίου, R_{min} - Ελάχιστη αντίσταση T_b - Θερμοκρασία Curie, R_b - Τιμή αντίστασης διακοπών $R_b=2R_n$
 R_{max} - Μέγιστη αντίσταση, T_r - Ισορροπία θερμοκρασίας σημείου

Ένας άλλος τύπος PTC θερμίστορ είναι το πολυμερές PTC, το οποίο πωλείται με τα εμπορικά σήματα "Polyfuse" , "Polyswitch" και "Multiswitch". Αποτελείται από φέτες πλαστικού με κόκκους άνθρακα ενσωματωμένα σε αυτό. Όταν το πλαστικό είναι ψυχρό, όλοι οι ανθρακικοί κόκκοι είναι σε επαφή μεταξύ τους, διαμορφώνοντας έναν αγωγίμο δρόμο μέσα στην συσκευή. Όταν το πλαστικό θερμανθεί, επεκτείνεται, αναγκάζοντας τους κόκκους άνθρακα να διαχωριστούν, προκαλώντας έτσι μία γρήγορη αύξηση στην τιμή της αντίστασης της συσκευής. Όπως και το $BaTiO_3$ θερμίστορ, η συσκευή αυτή έχει μία ιδιαιτέρως μη

γραμμική σχέση αντίστασης/θερμοκρασίας και χρησιμοποιείται ως διακόπτης, όχι για την ανάλογη θερμοκρασίας.

Τέλος, ένας ακόμη τύπος θερμίστορ είναι ο Silistor, ένας θερμικά ευαίσθητος αντιστάτης πυριτίου. Τα Silistor κατασκευάζονται με παρόμοιο τρόπο και λειτουργούν βάσει των ίδιων αρχών με τα άλλα θερμίστορ, χρησιμοποιεί όμως το πυρίτιο, ως ημιαγωγίμο συστατικό υλικό.

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ PTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Οι εφαρμογές των τυποποιημένων PTC θερμίστορ μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες:

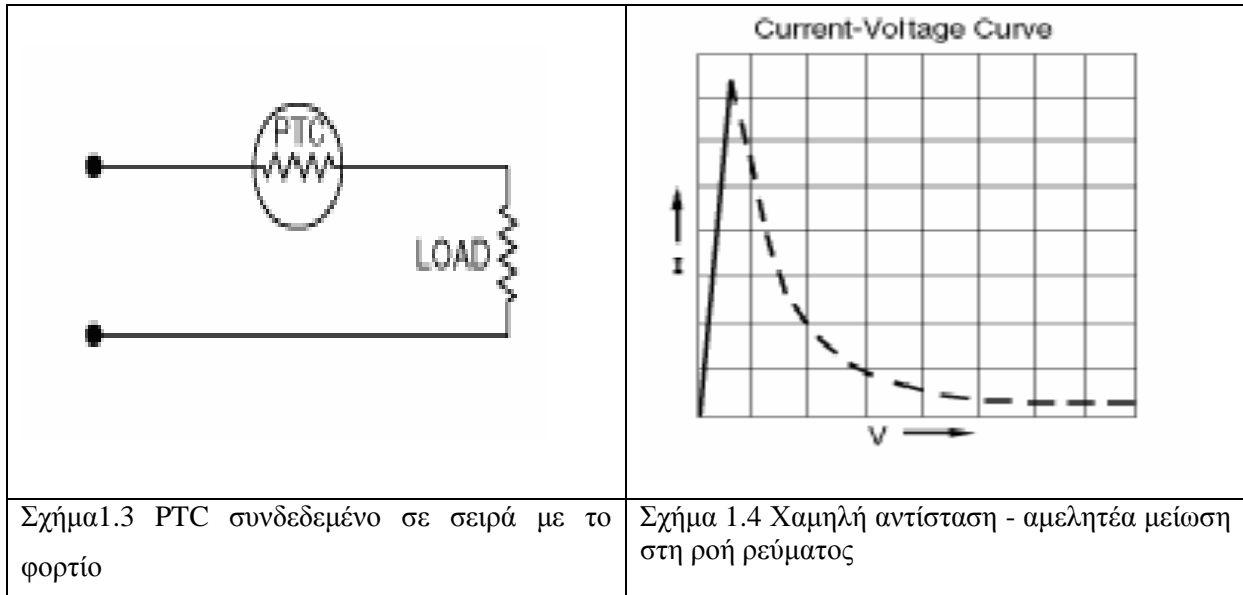
1. Εφαρμογές όπου η θερμοκρασία του PTC καθορίζεται πρώτιστα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει εφαρμογές όπως η μέτρηση θερμοκρασίας, ο έλεγχος θερμοκρασίας, αντιστάθμιση θερμοκρασίας και προστασία από ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών.
2. Εφαρμογές όπου η θερμοκρασία του PTC καθορίζεται πρώτιστα από την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται στη συσκευή. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει εφαρμογές όπως η ανίχνευση υγρών επιπέδων, ανίχνευση ροής αέρα, σταθερές εφαρμογές θερμοκρασίας και χρονική καθυστέρηση.

Για κάθε PTC υπάρχει μια ονομαστική V_{max} την οποία και δεν πρέπει να υπερβαίνει κατά την λειτουργία του. Κάνοντας κάτι τέτοιο είναι πιθανή η καταστροφή της ηλεκτρικής αντίστασης. Παρόλο που διάφορα PTC μπορούν να συνδεθούν στη σειρά για διάφορες εφαρμογές ανάγνωσης θερμοκρασίας, δεν συνδέεται το PTC σε σειρά προκειμένου να ληφθούν μετρήσεις υψηλότερης τάσης. Δεδομένου ότι καμία συσκευή δεν είναι ακριβώς ίδια με καμία άλλη, η καθεμιά θα έτεινε να θερμάνει γρηγορότερα από τις άλλες περιορίζοντας έτσι την ροή μέσω των άλλων συσκευών με συνέπεια όλη η διαθέσιμη τάση να «πέφτει» μετά την πρώτη συσκευή.

α) Προστασία ρεύματος.

Η χαρακτηριστική καμπύλη της τάσης-ρεύματος ενός PTC θερμίστορ, το καθιστά έναν ιδανικό υποψήφιο ως σύντομο κύκλωμα ή προστατευτική συσκευή ρεύματος. Το PTC συνδέεται σε σειρά με το φορτίο (Σχήμα3) και παραμένει σε κατάσταση χαμηλής αντίστασης, με συνέπεια την αμελητέα μείωση της ροής ρεύματος. Αυτό εμφανίζεται στο σχήμα4 στο πρώτο μέρος της γραμμικής αύξησης του ρεύματος με την τάση. . Όταν εμφανιστεί ένα σύντομο κύκλωμα ή μια κατάσταση ρεύματος, το PTC θα λειτουργήσει στην υψηλή κατάσταση αντίστασής του, περιορίζοντας έτσι την ροή ρεύματος στο κύκλωμα σε ένα σημείο αρκετά κάτω από το κανονικό επίπεδο λειτουργίας. Αυτό εμφανίζεται στη διάστικτη

γραμμή του σχήματος 4. Όταν το πρόβλημα αφαιρεθεί, το PTC θα επανέλθει στην κατάσταση χαμηλής αντίστασής του, επιτρέποντας έτσι στην κανονική ροή να επανέλθει στα κανονικά της επίπεδα.



Οι συσκευές παραμένουν στην κατάσταση χαμηλής αντίστασής τους, σε όλες τις θερμοκρασίες κάτω από την θερμοκρασία διακοπών. Όταν η θερμοκρασία διακοπών επιτυγχάνεται ή ξεπερνιέται, τότε αυξάνουν στιγμιαία την αντίστασή τους, ώστε να περιοριστεί η ροή του ρεύματος και να προστατευτούν τα στοιχεία του κυκλώματος.. Μόλις η θερμοκρασία επανέλθει σε ένα κανονικό επίπεδο λειτουργίας, η συσκευή επανέρχεται στην κατάσταση χαμηλής αντίστασής της.

Κωδικός Αριθμός	Θερμοκρασία διακοπών °C (±6°C)
SL20T-101-40	40
SL20T-101-50	50
SL20T-101-60	60
SL20T-101-70	70
SL20T-101-80	80
SL20T-101-90	90
SL20T-101-100	100
SL20T-101-110	110
SL20T-101-120	120

Προδιαγραφές:

Αντίσταση 25°C: 100 Ohms \pm 30% Μέγιστη εκτίμηση τάσης: 50 Volts Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας: 150°C

Θερμοκρασία διακοπών: Θερμοκρασία στην οποία η αντίσταση είναι διπλάσια της αντίστασης στους 25°C.



Σχήμα 1.5: Μέτρηση θερμοκρασίας με τη βοήθεια ενός PTC θερμίστορ

β) Ανίχνευση θερμοκρασίας.

Το χαρακτηριστικό τυποποιημένο PTC φέρει έναν εξαιρετικά υψηλό συντελεστή αντίστασης θερμοκρασίας. Το χαρακτηριστικό αυτό τον καθιστά ιδανικό για τις διάφορες εφαρμογές ανίχνευσης της θερμοκρασίας, ειδικά για ανίχνευση πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Οι κατασκευές της RTI Electronics σχεδιάζονται συγκεκριμένα για την ανίχνευση της θερμοκρασίας σε διάφορες συσκευές συμπεριλαμβανομένων των κρυσταλλολυχνιών δύναμης, των μετασχηματιστών κλπ.

Ορολογία των θερμίστορ για τις συσκευές μέτρησης και ελέγχου θερμοκρασίας.

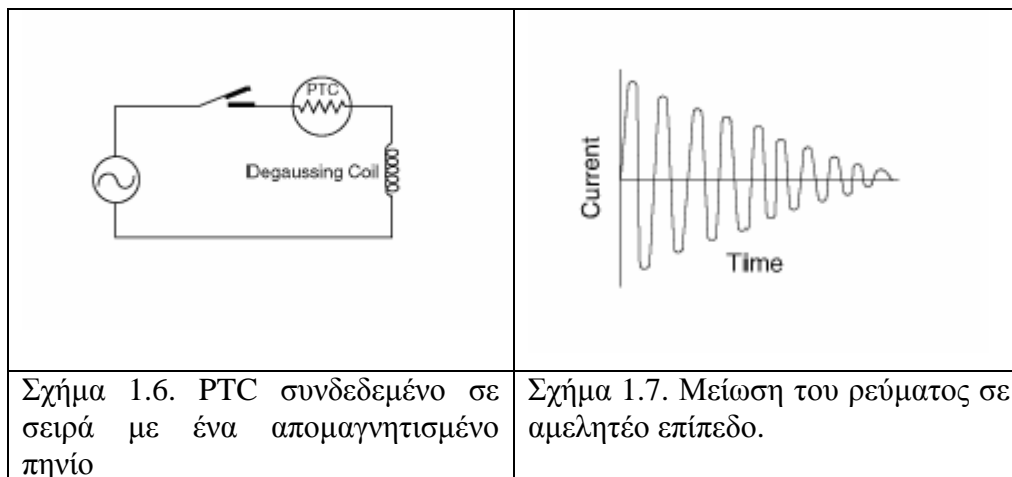
- **D.C.** - Η σταθερά διασκεδασμού, εκφρασμένη συνήθως σε (mW/°C) σε συγκεκριμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκφράζει την αναλογία μεταξύ της ισχύος που καταναλώνεται σε ένα θερμίστορ με την αλλαγή στη θερμοκρασία του
- **T.C.** - Η θερμική χρονική σταθερά είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένα θερμίστορ να μεταβάλλει το 63.2% της συνολικής διαφοράς μεταξύ της αρχικής και της τελικής θερμοκρασίας του όταν υποβάλλεται σε μια σταδιακή αλλαγή της λειτουργίας του σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός, και εκφράζεται συνήθως σε δευτερόλεπτα (s).

γ) Αυτορρυθμιζόμενη Θέρμανση.

Μοναδικό χαρακτηριστικό των PTC είναι η δυνατότητα τους, στις περιπτώσεις που θερμαίνονται πάνω από την θερμοκρασία λειτουργίας τους, να διατηρούν μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία ανεξάρτητα από τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ή της τάσης ισχύος. Η RTI Electronics παράγει συσκευές που σχεδιάζονται συγκεκριμένα για αυτορρυθμιζόμενες εφαρμογές θερμαστρών, όπως ο έλεγχος θερμοκρασίας των κρυστάλλων, των ταλαντωτών και των υγρών κρυστάλλων.

δ) Αυτόματη απομαγνήτιση

Η εικόνα 12 παρουσιάζει ένα PTC συνδεδεμένο σε σειρά με ένα απομαγνητισμένο πηνίο για ένα CRT σε μια έγχρωμη τηλεόραση ή ένα μόνιτορ. Όταν ο διακόπτης κλείνει, η χαμηλή αρχική αντίσταση του PTC επιτρέπει στο υψηλό ρεύμα εισροής να “τρέξει” στο κύκλωμα. Μετά από μια μικρή χρονική περίοδο, το PTC μετατρέπει τη λειτουργία του στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του, μειώνοντας έτσι τη ροή του ρεύματος σε ένα αμελητέο επίπεδο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 13.



Ο χρόνος που απαιτείται για να μετατρέψει ένα PTC τη λειτουργία του σε κατάσταση υψηλής αντίστασης, προσεγγίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_s (\text{sec}) = H_e (T_s - T_a) / P_o \quad (5)$$

Όπου: H_e = Ικανότητα θερμότητας $\text{watt}\cdot\text{sec}/^\circ\text{C}$

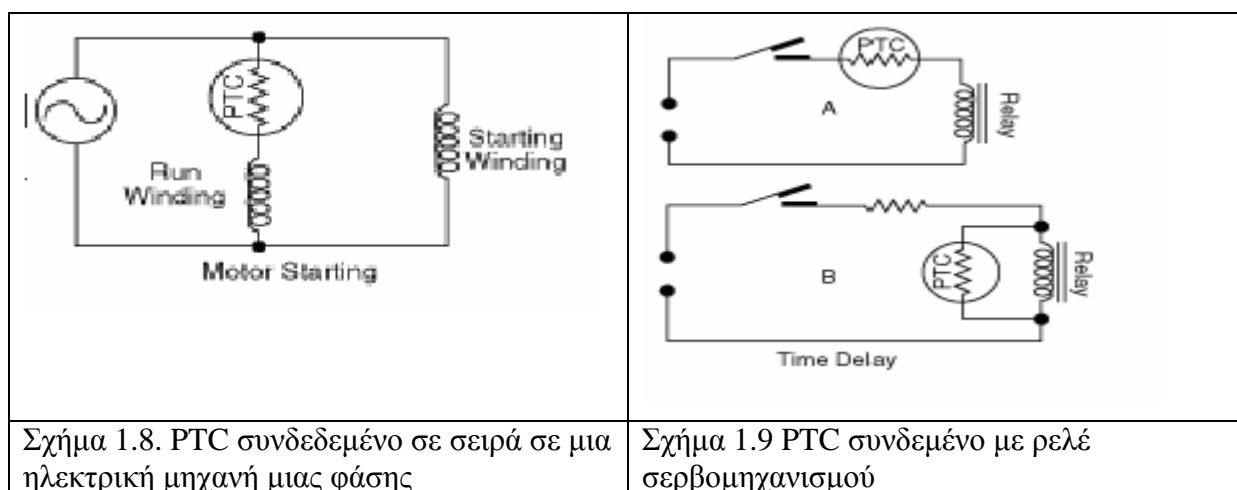
T_s = Θερμοκρασία Διακόπτη ($^\circ\text{C}$)

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ\text{C}$)

P_o = Αρχική ισχύς που εφαρμόζεται (watts)

ε) Έναρξη μηχανών

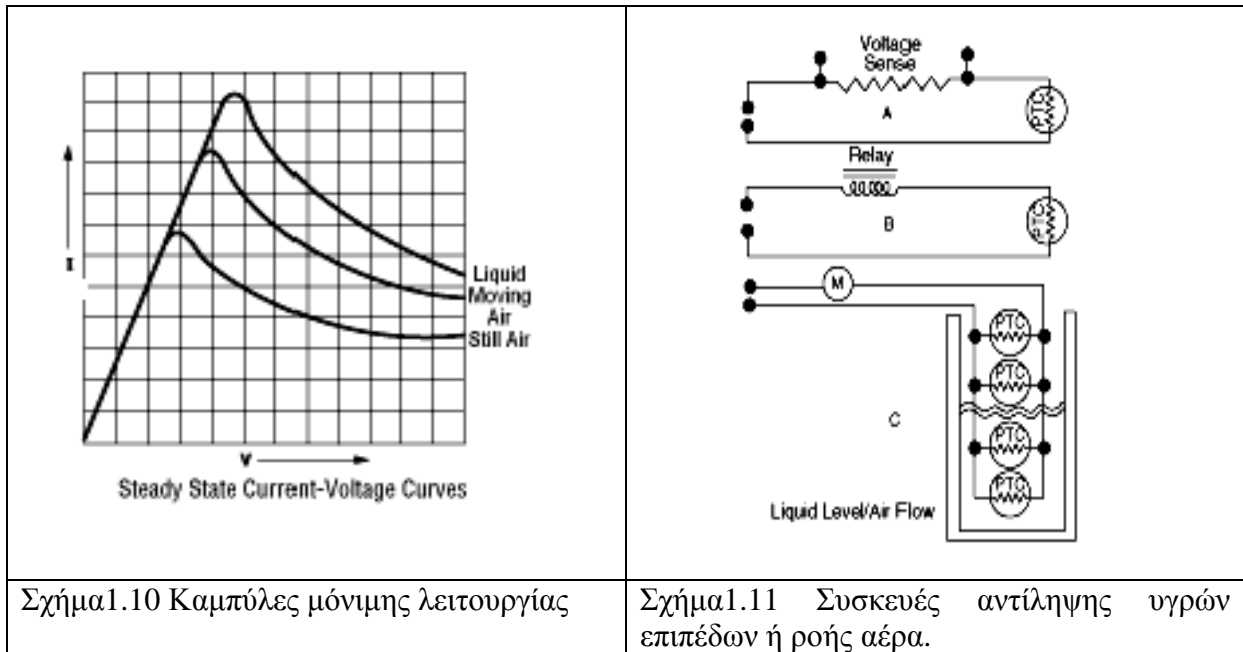
Το σχήμα 7 δείχνει ένα PTC συνδεδεμένο σε σειρά σε μια ηλεκτρική μηχανή μίας φάσης. Η χαμηλή αρχική αντίσταση του PTC επιτρέπει σε ένα ικανοποιητικό ποσό ρεύματος να τρέξει μέσα στο κύκλωμα μέχρι η μηχανή να ξεκινήσει τη λειτουργία της. Το PTC μεταπηδά έπειτα στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του, μειώνοντας έτσι την ροή ρεύματος, πλησιάζοντάς την στο μηδέν.



Στο σχήμα 8A το PTC είναι συνδεδεμένο σε σειρά με ένα πηνίο ηλεκτρονόμων. Όταν ο διακόπτης κλείσει, το ρελέ θα ενεργοποιηθεί αυτόματα και θα παραμείνει ενεργός μέχρι το PTC να λειτουργήσει στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του. Στο σχήμα 8B το PTC είναι συνδεδεμένο παράλληλα με ένα πηνίο σεβρομηχανισμού. Όταν ο διακόπτης κλείσει, ο ηλεκτρονόμος δεν θα ενεργοποιηθεί μέχρι το PTC να λειτουργήσει στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε το PTC να μεταπηδήσει στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του προσεγγίζεται από την εξίσωση C.

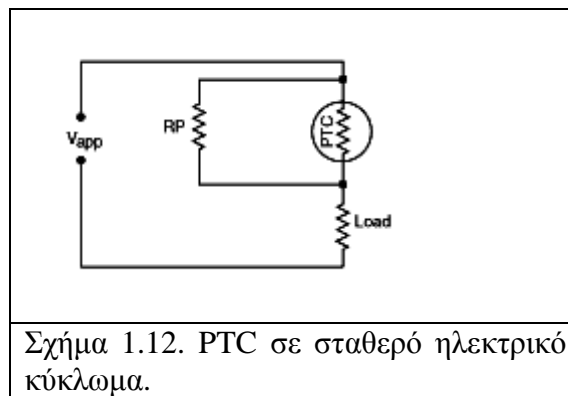
στ) Αντίληψη υγρού επιπέδου / ροής αέρα

Η χαρακτηριστική καμπύλη ενός PTC ποικίλει ανάλογα με την θερμική αγωγιμότητα του περιβάλλοντός του. Το σχήμα 9 παρουσιάζει μια καμπύλη σε κατάσταση τάσης ρεύματος, ενός PTC της RTI Electronics, το οποίο υποβάλλεται σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος. Η ιδιότητα αυτή καθιστά τα PTC ιδανικές συσκευές για την αντίληψη υγρών επιπέδων ή ροής αέρα.



ζ) Σταθερό ρεύμα

Στο σχήμα11 δίνεται ένα τυποποιημένο PTC θερμίστορ σε ένα σταθερό ηλεκτρικό κύκλωμα. Αν η εφαρμοζόμενη τάση (V_{app}) ποικίλει, η αντίσταση του PTC θα αλλάξει για να αντισταθμίσει αυτήν την αλλαγή, έχοντας ως συνέπεια το σχεδόν σταθερό ρεύμα μέσω του φορτίου.



η) Αντισταθμιση και μέτρηση θερμοκρασίας

Τα PTC είναι γενικά σχεδιασμένα έτσι ώστε να αντιλαμβάνονται απότομες αυξήσεις στην θερμοκρασία λειτουργίας αλλά και πάνω από αυτήν. Εντούτοις, τα PTC με σχεδόν γραμμικά χαρακτηριστικά αντιστάτη – θερμοκρασίας, είναι ικανά για αντισταθμιση θερμοκρασίας και στις εφαρμογές μέτρησης της θερμοκρασίας.

Θ) Προστασία από το ρεύμα

Το προστατευτικό ρεύματος του PTC συνδέεται σε σειρά με το φορτίο που πρόκειται να προστατευτεί. Κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, το PTC παραμένει στην κατάσταση χαμηλής αντίστασής του με συνέπεια την αμελητέα μείωση στην ροή ρεύματος. Όταν παρουσιαστεί κατάσταση υψηλής ροής ρεύματος, τότε το PTC θα μεταστραφεί στην κατάσταση υψηλής λειτουργίας του, περιορίζοντας έτσι τη ροή του ρεύματος στο κύκλωμα σε μία τιμή κάτω από το κανονικό επίπεδο λειτουργίας. Όταν ο παράγοντας σφάλματος εξαλειφθεί, τότε το PTC επιστρέφει στην κατάσταση χαμηλής αντίστασής του, επιτρέποντας στην ροή του ρεύματος να επανέλθει στα κανονικά της επίπεδα.

Μερικές από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές προστασίας από το ρεύμα περιλαμβάνουν:

- Προστασία ελαττωμάτων τηλεφωνικών γραμμών
- Προστασία μετασχηματιστών
- FHP προστασία
- Προστασία Transistor
- Προστασία ομιλητών
- **Μέγιστο Συνεχές ρεύμα (Icc)** – Μία από τις πρώτες εκτιμήσεις αφορά το μέγιστο ποσό ρεύματος. Το PTC να είναι ικανό να λειτουργεί χωρίς να μετατρέπεται στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του.
- **Ελάχιστο Switching ρεύμα(Is)** – Η δεύτερη εκτίμηση αφορά τον καθορισμό του ελάχιστου ποσού ρεύματος που απαιτείται για να μεταστραφεί το PTC στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του. Δείτε το ανάλογο φύλλο προδιαγραφών.

Μέγιστη τάση λειτουργίας (Vmax) – Έπειτα υπολογίζουμε ή εκτιμούμε την τάση η οποία θα εφαρμόζεται στο θερμίστορ όταν αυτό θα μεταστρέφεται στην υψηλή κατάσταση λειτουργίας του (η αντίσταση (R) του θερμίστορ στην υψηλή κατάσταση θα είναι μεγαλύτερη κατά δύο ή τρεις φορές από την τιμή της στους 25°C).Εάν η τάση εκτιμάται ότι θα είναι μεγαλύτερη από την Vmax τότε πρέπει να γίνει διαφορετική επιλογή με υψηλότερη Vmax.

1.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ PTC

Υπάρχουν διαφόρων τύπων PTC θερμίστορ τα οποία χαρακτηρίζονται είτε από το γεωμετρικό τους σχήμα είτε από το υλικό από το οποίο αποτελούνται. Στη συνέχεια δίνονται μερικοί τύποι θερμίστορ με τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

1.4.1 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ PTC Δίσκου

Τα θερμίστορ δίσκου συνήθως έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: Οι τιμές αντίστασης κυμαινόμενες από 1.0 έως 1500 ohm στους 25°C., σε θερμοκρασίες διακοπών (Ts) από 40 έως 120°C. Η μέγιστη τάση λειτουργίας (Vmax) είναι 350V σε συνεχές ρεύμα.



Σχήμα 1.13 Διατάξεις PTC Δίσκου

Κατά την επιλογή ενός PTC θερμίστορ δίσκου προσοχή πρέπει να δίνεται στην εκτίμηση χαρακτηριστικών – παραμέτρων του θερμίστορ, η οποία σχετίζονται με την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθεί το αισθητήριο.

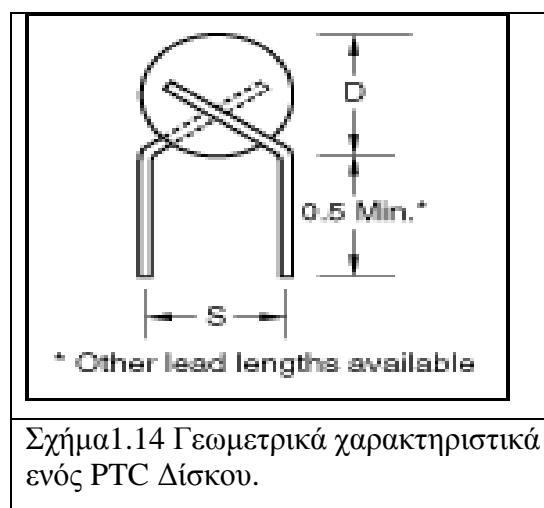
Οι πιο σημαντικές απαραίτητες εκτιμήσεις που πρέπει να γίνουν όταν διαλέγουμε ένα PTC θερμίστορ είναι η αντίσταση (R) στους 25°C καθώς και η θερμοκρασία μετάβασης. Πιο αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των θερμίστορ έχουν ως ακολούθως:

1. Αντίσταση ($R_{25^{\circ}\text{C}}$): είναι η πρώτη εκτίμηση στην επιλογή ενός τυποποιημένου PTC θερμίστορ δίσκου και αφορά την ονομαστική τιμή αντίστασης (R) στους 25°C. Οι διαθέσιμες τιμές είναι ταξινομημένες στον πίνακα προδιαγραφών των τυποποιημένων PTC θερμίστορ.
2. Θερμοκρασία διακοπών (Ts): είναι η δεύτερη εκτίμηση αφορά στον καθορισμό της απαιτούμενης θερμοκρασίας διακοπών (Ts) (πολλές φορές προσδιορίζεται εναλλακτικά ως η θερμοκρασία μετάβασης ή το σημείο Curie). Τα τυποποιημένα PTC θερμίστορ δίσκου συνήθως έχουν θερμοκρασία διακοπών που κυμαίνεται από 40°C

έως 120°C. Οι θερμοκρασίες διακοπών που είναι διαθέσιμες είναι ταξινομημένες στον πίνακα προδιαγραφών των τυποποιημένων PTC θερμίστορ.

3. Μέγιστη τάση λειτουργίας (Vmax): τέλος, υπολογίζουμε ή εκτιμούμε την τάση που θα εφαρμοστεί στο επιλεγμένο θερμίστορ, όταν η συσκευή λειτουργεί στην κατάσταση υψηλής αντίστασης της (η αντίσταση του θερμίστορ στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του θα είναι μεγαλύτερη κατά δύο με τρεις φορές από την τιμή της $R=25^{\circ}\text{C}$. Εάν η εκτιμώμενη τάση είναι υψηλότερη από την Vmax τότε πρέπει να γίνει διαφορετική επιλογή θερμίστορ με υψηλότερη Vmax.
4. Μέγιστο συνεχές ρεύμα (Icc): είναι η μέγιστη ποσότητα ρεύματος, εκφρασμένη σε AMPS. Το PTC να είναι ικανό να λειτουργεί χωρίς να μεταφέρεται στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του.
5. Ελάχιστη Μετατροπή ρεύματος(Is): είναι η ελάχιστη ποσότητα ρεύματος, εκφρασμένη σε AMPS, που απαιτείται για να μεταστραφεί το PTC στην κατάσταση υψηλής αντίστασής του.

Σημείωση – Οι τιμές του ελάχιστου ρεύματος και του μέγιστου συνεχούς ρεύματος είναι μόνο τιμές αναφοράς. Η κάθε μέθοδος αλλά και οι συνθήκες περιβάλλοντος μπορούν να έχουν επιπτώσεις στις παραμέτρους αυτές.



Οι συσκευές δίσκου της RTI Electronics είναι σχεδιασμένες ώστε να αντιλαμβάνονται την θερμοκρασία συσκευών μετάβασης ισχύος, πλαισίων κλπ. Η κατασκευή αποτελείται από ένα μικρό, δίσκο διαμέτρου 0.2" ,θετικού συντελεστή θερμοκρασίας θερμίστορ, συνδεδεμένο με ένα δίσκο θερμικών αντιστάσεων, συνημμένος να τοποθετήσει μια ετικέτα αργιλίου για να χρησιμοποιήσει θερμικά αγωγίμο εποξικό.

Προδιαγραφές PTC προστασίας ρεύματος.

Αντίσταση βάσεων								Αναφορά Διαστάσεων			
Κωδικός Αριθμός	Τιμή(ohm)	Ανοχή (±)	Μέγιστη τάση λειτουργίας Vmax	Μέγιστο Συνεχές ρεύμα (Amps)	Min διακοπών Ρεύμα (Amps)	Διακόπτης Θερμ. (Ref.) (°C)	Θερμική ικανότητα (Watt-Sec./°C)	Σταθερά διασκεδασμού (mW/°C)	DMax Dia. (In.)	Μόλυβδος Dia. (In.)	S Ref. (In.)
SP5504D-1R0-120	1	20%	15	0.600	1.300	120	0.48	13	0.60	0.032	0.3
SP5004D-2R0-120	2	20%	25	0.440	0.900	120	0.39	12	0.55	0.032	0.3
SP4004D-3R3-120	3.3	30%	25	0.300	0.690	120	0.25	10	0.45	0.025	0.3
SP6709D-4R7-110	4.7	20%	132	0.290	0.650	110	1.59	16	0.70	0.032	0.0
SP4004D-5R0-110	5	20%	25	0.220	0.500	110	0.25	10	0.45	0.025	0.3
SP3505D-7R5-120	7.5	30%	50	0.180	0.400	120	0.24	8	0.40	0.020	0.2
SP5510D-100-110	10	30%	132	0.170	0.430	110	1.19	13	0.60	0.025	0.3
SP3505D-100-120	10	30%	50	0.150	0.350	120	0.24	8	0.40	0.020	0.2
SP2505D-200-120	20	30%	50	0.095	0.215	120	0.12	6	0.30	0.020	0.2
SP3510D-300-110	30	30%	132	0.075	0.190	110	0.48	8	0.40	0.020	0.2
SP3010D-500-110	50	30%	132	0.055	0.140	110	0.35	7	0.35	0.020	0.2
SP3010D-101-110	100	30%	132	0.040	0.100	110	0.35	7	0.35	0.020	0.2
SP2008D-251-120	250	30%	150	0.028	0.070	120	0.13	7	0.25	0.020	0.2
SP2010D-501-120	500	30%	250	0.020	0.050	120	0.16	7	0.25	0.020	0.2

1.4.2 PTC Θερμίστορ πυριτίου

Ο θετικός συντελεστής θερμοκρασίας της αντίστασης είναι πολύ υψηλός: περίπου 0.7%/°C, καθιστώντας αυτές τις μονάδες ιδανικές για χρήση σε εφαρμογές αντιστάθμισης και ανάγνωσης της θερμοκρασίας. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τους ενισχυτές, τις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, την τηλεμετρία, τους υπολογιστές, τους μαγνητικούς ενισχυτές, την μετεωρολογία και την προστασία από υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 1.15 Θερμίστορ πυριτίου

Πίνακας προδιαγραφών PTC Πυριτίου.

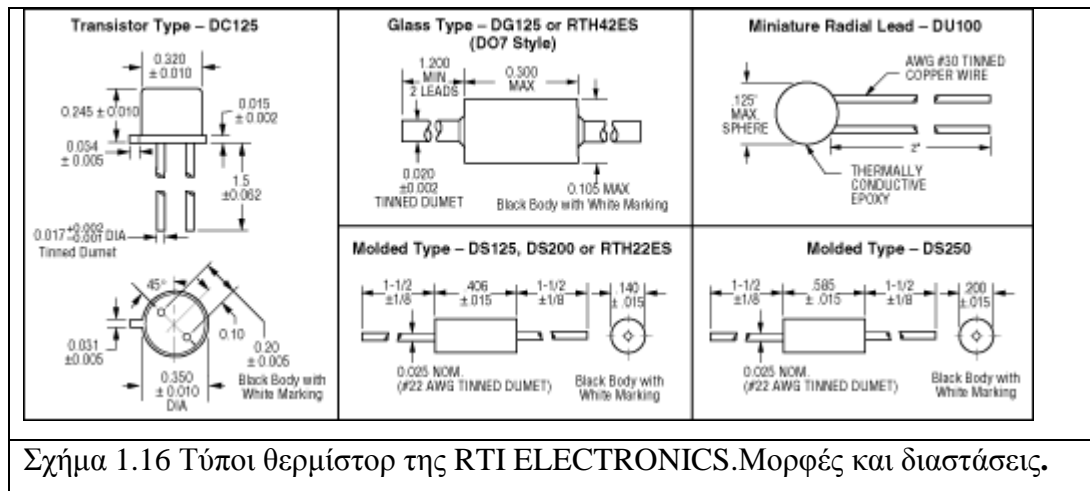
Τύπος	Wattage εκτίμηση 100°C (Watts)	Αντίσταση (Ω)	Θερμική Χρονική Σταθερά (Sec Max)	Λειτουργική Περιβαλλοντική Θερμοκρασία Σειράς (°C)	Θερμοκρασία με Συντελεστή Αντίστασης
DS125	0.125	10 έως 39,000	34.8	-65 to +150	A
DS200	0.250	10 έως 39,000	34.8	-65 to +150	A
DS250	0.250	10 έως 39,000	54	-65 to +150	A
DG125	0.125	10 έως 10,000	60	-65 to +125	B
DC125	0.125	10 έως 10,000	54	-65 to +125	B
DU100	0.125	10 έως 10,000	9	-65 to +125	B
RTH22ES	0.250	10 έως 10,000	34.8	-65 to +150	A
RTH42ES	0.125	10 έως 10,000	60	-65 to +125	B

MIL-Εγκριμένες σειρές

Τα θερμίστορ της RTI Electronics είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα ώστε να αντέχουν όλες τις συνθήκες περιβάλλοντος που απαιτούνται από τα πιο αυστηρά Mil πρότυπα. Καλύπτουν ή και υπερβαίνουν όλες τις απαιτήσεις ενός MIL-T-23648 για θετικού συντελεστή θερμοκρασίας θερμίστορ.

RTH42ES - Per MIL-T-23648/19. Γυαλί, ερμητικά σφραγισμένος τύπος, παρόμοιος τύπος με την σειρά DG125.

RTH22ES - Per MIL-T-23648/9. Τύπος, παρόμοιος με τη σειρά DS200.



Σχήμα 1.16 Τύποι θερμίστορ της RTI ELECTRONICS.Μορφές και διαστάσεις.

Πίνακες Θερμοκρασίας συναρτήσει Συντελεστή Αντίστασης.

Θερμοκρασία (°C)	Πίνακας A					
	Σειρές αντίστασης @25°C					
	(10 – 75)	(82 – 160)	(180 – 620)	(680 – 1800)	(2000 - 12,000)	(15,000 - 39,000)
-55	0.615	0.582	0.560	0.550	0.515	0.481
-15	0.790	0.770	0.755	0.740	0.730	0.712
0	0.863	0.847	0.838	0.835	0.825	0.814
25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50	1.160	1.170	1.180	1.200	1.230	1.210
75	1.350	1.370	1.400	1.420	1.450	1.430
100	1.545	1.584	1.623	1.656	1.670	1.670
125	1.750	1.800	1.860	1.920	1.960	N/A

Πίνακας Β						
Θερμοκρασία(°C)	Σειρές αντίστασης @ 25°C (ohms)					
	(10 – 75)Ω	(82 – 160)Ω	(180 – 510)Ω	(560 – 1300) Ω	(1500 – 6200) Ω	(6800 - 10,000) Ω
-55	0.615	0.582	0.560	0.550	0.515	0.510
-15	0.790	0.770	0.755	0.740	0.730	0.730
0	0.863	0.847	0.838	0.835	0.825	0.825
25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50	1.160	1.170	1.180	1.200	1.230	1.190
75	1.350	1.370	1.400	1.420	1.450	1.400
100	1.545	1.584	1.623	1.656	1.670	1.610
125	1.750	1.800	1.860	1.920	1.960	1.830

Πίνακας Γ		
Θερμοκρασία(°C)	Ανοχή στις θερμοκρασίες	
	Εκτός από 25°C	
	±5% (J)*	±10% (K)*
-55	± 20	± 25
-15	± 13	± 18
0	± 7	± 12
50	± 7	± 12
75	± 9	± 14
100	± 12	± 17
125	± 15	± 20

Οι ανωτέρω πίνακες δίνουν την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ για τις απαριθμημένες θερμοκρασίες (RT). Για να καθορίσουμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ σε μία θερμοκρασία (RT):

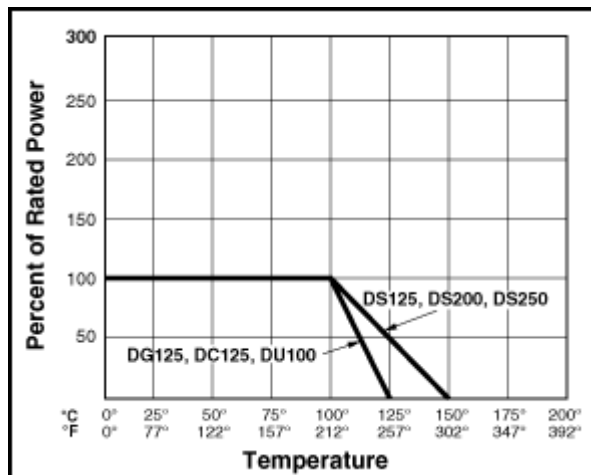
Βρείτε την θερμοκρασία στην κάθετη στήλη, "θερμοκρασία °C". Έπειτα βρείτε τη σειρά της αντίστασης (R) στους 25°C, στην σχετική κάθετη στήλη. Η διασταύρωση των δύο στηλών θα σας δώσει τον "συντελεστή αντίστασης", (Rc), του θερμίστορ για την επιθυμητή θερμοκρασία. Υπολογίζουμε ως εξής:

$$RT = 25^{\circ}\text{C} \times R_c$$

Η ανοχή της αντίστασης για θερμοκρασίες άνω των 25°C φαίνονται στον "Πίνακα C". Για παράδειγμα, η ανοχή της αντίστασης (R) στους +50°C για ένα PTC Θερμίστορ με

ανθεκτικότητα $\pm 5\%$ στους 25°C θα ήταν $\pm 7\%$. Οι ανωτέρω πίνακες δίνουν την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ για τις απαριθμημένες θερμοκρασίες (RT). Για να καθορίσουμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ σε μία θερμοκρασία (RT):

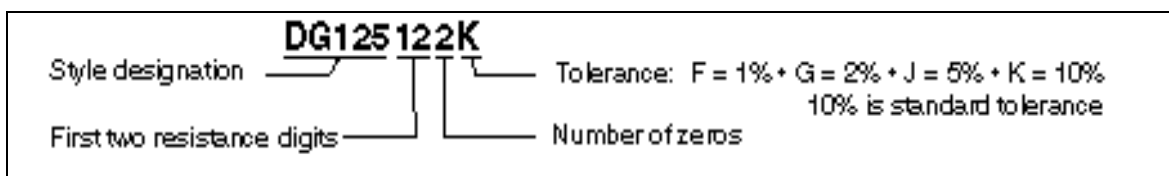
Συνιστώμενη Derating Καμπύλη



Σχήμα 1.17 Συνιστώμενη Derating Καμπύλη

Ο κωδικός προϊόντων της RTI Electronics αποτελείται από έναν αλφανουμερικό κώδικα πολυ-ψηφίων. Παράδειγμα:

Το DG125 122k είναι το DG125 με αντίσταση 1200 ohm και ανοχή $\pm 10\%$



Σχήμα 1.18 Κωδικοποίηση –Ονοματολογία θερμίστορ

1.5. ΕΛΕΓΧΟΙ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η RTI Electronics έχει εκτεταμένη εμπειρία ώστε να σχεδιάζει θερμίστορ τα οποία ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, για ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η RTI Electronics έχει παράγει συστατικά για χρήση από τους πιο απλούς αισθητήρες μέχρι υβριδικά υποστρώματα για κρίσιμες δορυφορικές εφαρμογές. Οι μηχανικοί της RTI Electronics είναι διαθέσιμοι για συνεργασία με τους πελάτες προκειμένου να παραχθούν σχέδια με τις κατάλληλες δυνατότητες αντίστασης, χρόνους απόκρισης, μεγέθη και οποιαδήποτε άλλη ειδική απαίτηση. Τα προσαρμοσμένα θερμίστορ υποβάλλονται στους

ίδιους επίπουνους ποιοτικούς ελέγχους με τα τυποποιημένα προϊόντα, βεβαιώνοντας έτσι την υψηλή αξιοπιστία, την σταθερότητα και την ακρίβεια στο σχεδιασμό κάθε προϊόντος. Τα θερμίστορ της RTI Electronics μπορούν να παρασχεθούν στα δίκτυα δύο ή περισσότερων μονάδων για να ολοκληρωθούν οι συγκεκριμένοι στόχοι εφαρμογής. Μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Η RTI Electronics έχει επίσης σχεδιάσει και παράγει πλήθος ελέγχων και συναρμολογήσεων για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιακών μετρήσεων και εφαρμογών ελέγχου. Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να συνίστανται σε μικροσκοπικά τσιπ ή μεγάλες μονάδες thermowells, ειδικούς μόλυβδους και καλώδια διάταξης ή τυποποιημένες βίδες. Για δύσκολα περιβάλλοντα, όπως η υγρή εμπάπτιση, τα χημικά μέσα κλπ., συμβουλευτείτε τους μηχανικούς της RTI Electronics για συστάσεις και οδηγίες σχετικά με τα θερμίστορ.

1.6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Τα θερμίστορ είναι θερμοκρασιακοί αισθητήρες, κατασκευασμένοι από ημιαγωγίμο υλικό, το οποίο έχει συμπτυκνωθεί ώστε να επιδεικνύει μεγάλες αλλαγές στην αντίσταση, σε μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές. Αυτή η αντίσταση μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ένα μικρό και άμεσα μετρήσιμο ρεύμα, ή συνεχές ρεύμα (dc), το οποίο περνάει μέσα από το θερμίστορ με στόχο τη μέτρηση της παραχθείσας πτώσης τάσης. Τα θερμίστορ είναι μια πολύ υψηλής ακρίβειας κατηγορία αισθητήρων θερμοκρασίας. Γενικά, τα θερμίστορ αποτελούνται από συμπτυκνωμένα κεραμικά, ιδιαίτερα ευαίσθητα υλικά, με συνέπεια τις ιδιότητες της αντίστασης έναντι της θερμοκρασίας. Αυτοί οι αισθητήρες στερεάς κατάστασης, στην πραγματικότητα συμπεριφέρονται ως ηλεκτρικοί αντιστάτες, που είναι απλώς θερμοκρασιακά ευαίσθητοι. Αυτός είναι και ο λόγος που το όνομά τους αποτελεί έναν συνδυασμό των λέξεων “θερμότητα” και “αντίσταση”. Η Ametherm εξειδικεύεται στα NTC, ή αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας, θερμίστορ. Τα NTC Thermistors που κατασκευάζει, είναι ακτινωτοί μόλυβδούχοι δίσκοι που σχεδιάζονται με στόχο την ανθεκτικότητα και την απόδοση. Τα NTC θερμίστορ είναι μη γραμμικοί αντιστάτες, τα οποία αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της αντίστασής τους με την θερμοκρασία. Η αντίσταση ενός NTC θερμίστορ θα μειωθεί, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Ο τρόπος με τον οποίο η αντίσταση ενός θερμίστορ μειώνεται σχετίζεται με μία σταθερά, η οποία είναι γνωστή στην βιομηχανία κατασκευής θερμίστορ ως β . Η σταθερά Beta μετριέται σε $^{\circ}\text{K}$ και εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του θερμίστορ.

1.6.1 Βασικά χαρακτηριστικά των NTC θερμίστορ.

Τα NTC θερμίστορ αποτελούν ημιαγώγιμα υλικά κατασκευασμένα από κεραμικά υλικά και που περιέχουν ένα μίγμα από διάφορα μεταλλικά οξείδια. Χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση θερμοκρασίας, τη ρύθμιση τάσης, την προστασία κυκλωμάτων, την χρονική καθυστέρηση και τη ρύθμιση όγκου. Όλα αυτά τα καθιστούν ιδιαίτερα ευπροσάρμοστα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Βρίσκονται στο εμπόριο σε διάφορες μορφές όπως μικρές σφαίρες και φυλλοειδείς δομές με μέγεθος μικρότερο από 25μm, δίσκους, ράβδους και δακτύλιους. Οι μεγάλοι δίσκοι και δακτύλιοι μπορούν να καταγράφουν δυναμικότητα θέρμανσης τόσο υψηλή όσο μερικά βat ανά βαθμό Κελσίου. Τα NTC θερμίστορ είναι αυτά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για περιπτώσεις ανίχνευσης θερμοκρασίας, ενώ τα PTC θερμίστορ χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

1.6.2. Επιλογή NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Για την επιλογή ενός NTC θερμίστορ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι ανάλογα με την εφαρμογή που πρόκειται να υλοποιηθεί. Τα NTC θερμίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ευρεία ποικιλία έργων και εφαρμογών. Μεταξύ άλλων, τα NTC θερμίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση υπερθέρμανσης σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό, για να προστατέψουν τα κυκλώματα από την άντληση περίσσειας ηλεκτρικού ρεύματος και για να αντισταθμίσουν θερμοκρασίες σε κινητούς εξοπλισμούς επικοινωνιών. Η επιλογή του κατάλληλου θερμίστορ καθορίζεται από τις ανάγκες που εξυπηρετεί.

Βασικά, υπάρχουν δύο είδη NTC θερμίστορ. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο με τον οποίο τα ηλεκτρόδια είναι συνδεδεμένα με το κεραμικό σώμα του θερμίστορ. Το πρώτο είδος είναι το **θερμίστορ σφαίρας**. Όλα τα θερμίστορ αυτού του είδους έχουν ηλεκτρικά αγωγίμα σύρματα κατασκευασμένα από λευκόχρυσο επιτρέποντας έτσι τη συσσωμάτωσή τους στο σώμα του θερμίστορ. Αυτού του είδους το θερμίστορ περιλαμβάνει: γυμνές σφαίρες, γυάλινες επιχρισμένες σφαίρες, ανθεκτικές και ενισχυμένες σφαίρες, μικροσκοπικά γυάλινα ηλεκτρόδια, γυάλινα ηλεκτρόδια, γυάλινες ράβδους και σφαίρες σε γυάλινα περιβλήματα.

Το δεύτερο είδος θερμίστορ έχει **μεταλλικές επιφάνειες επαφής**. Αυτά τα NTC θερμίστορ αποτελούνται είτε από αξονικά είτε από ακτινικά ηλεκτρικά αγωγίμα σύρματα, μπορεί όμως και να μην περιέχουν καθόλου σύρματα ούτως ώστε να κάνουν την σύνδεση επιφάνειας ή την σύνδεση επαφής του ελάσματος εύκολη. Αυτού του είδους το θερμίστορ περιλαμβάνει: δίσκους, τσιπς ή δισκία, συνδέσεις επιφάνειας, ράβδους και δακτυλίους.

Για την επιλογή του κατάλληλου θερμίστορ ένα πρώτο βασικό χαρακτηριστικό είναι το μέγεθος της συσκευής και τα επιθυμητά φυσικά χαρακτηριστικά του όπως και η θερμική

απόκριση. Κάθε σύστημα διαθέτει περιορισμούς σχετικά με το εύρος των ονομαστικών τιμών των αντιστάσεων λειτουργίας. Ιδιαίτερη σπουδή πρέπει να γίνεται στα διαγράμματα αντίστασης θερμοκρασίας όπως και η ανοχή τους. Το πιο οικονομικά αποδοτικό θερμίστορ θα πρέπει να διαθέτει ευρύτερη ανοχή. Η ανοχή βήτα και τα όρια και της αντίστασης πρέπει επίσης να ληφθούν υπ' όψιν στην επιλογή του θερμίστορ, καθώς αυτά είναι που καθορίζουν τις χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές αντίστασης. Δεν πρέπει να παραληφθεί το γεγονός ότι η δομή και σύσταση των μεταλλικών οξειδίων όπως επίσης και η πραγματική διαδικασία παραγωγής μπορούν να επηρεάσουν την ανοχή βήτα. Με βάση την επιθυμητή χρήση του θερμίστορ, πρέπει επίσης να εξεταστεί και το ενδεχόμενο προσαρμογής της καμπύλης και της ικανότητας ανταλλαγής του θερμίστορ. Όταν εξετάζουμε αυτούς τους παράγοντες πρέπει να συμπεριλάβουμε το κόστος και την απόδοση επίσης. Η διαδικασία της βαθμονόμησης, είναι επίσης πολύ σημαντική διαδικασία για την περαιτέρω σωστή και ακριβή λειτουργία του αισθητηρίου.

Με δεδομένο το γεγονός ότι τα NTC θερμίστορ κυκλοφορούν σε διάφορα είδη. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα NTC θερμίστορ έχουν συγκεκριμένες ηλεκτρικές ιδιότητες:

- χαρακτηριστική ρεύματος – χρόνου
- χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης
- χαρακτηριστική αντίστασης – θερμοκρασίας

Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψιν πριν πάρουμε την απόφασή μας σχετικά με το είδος του NTC θερμίστορ που αναζητούμε. Βέβαια υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν:

1.6.3 Στοιχεία γραμμικής απόκρισης σε σύγκριση με τα Ηλεκτρόδια των θερμίστορ.

Κάποιες εφαρμογές απαιτούν ένα θερμίστορ με γραμμική απόκριση στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες περιπτώσεις που απαιτούν ένα θερμίστορ που να μπορεί να σταθεί από μόνο του. Για αυτό το σκοπό, πρέπει να σκεφτούμε τα ηλεκτρόδια των θερμίστορ. Πολλά από αυτά είναι εσώκλειστα σε μεταλλικούς σωλήνες, κάνοντάς τα έτσι πιο ενισχυμένα.

α) Καμπύλες ανοχής – θερμοκρασίας:

Οι κατάλογοι πωλήσεων που παρέχονται από τους κατασκευαστές και τους προμηθευτές περιέχουν πίνακες ή φόρμες πινάκων με λόγους αντίστασης έναντι θερμοκρασιών για κάθε ένα από τα προϊόντα τους. Μερικές φορές παρέχουν και συντελεστές συγκεκριμένων εξισώσεων, ούτως ώστε να βοηθήσουν τον χρήστη ή τον σχεδιαστή στην ανάλυση των

δεδομένων αντίστασης / θερμοκρασίας. Υπάρχει μία σχετικά μεγάλη ποικιλία υλικών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή θερμίστορ, αλλά όμως υπάρχουν περιορισμοί που αφορούν το μέγεθος, το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας και εναποθήκευσης και τέλος τις ονομαστικές τιμές αντίστασης.

β) Ονομαστική τιμή αντίστασης:

Ο επόμενος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου θερμίστορ, είναι η ονομαστική τιμή αντίστασης σε μια δοσμένη θερμοκρασία. Οι κατασκευαστές παρέχουν ένα ολόκληρο εύρος από ονομαστικές τιμές αντίστασης για τα θερμίστορ που διαθέτουν. Η πρότυπη θερμοκρασία αναφοράς είναι 25° C, αλλά οι αγοραστές και οι σχεδιαστές μπορεί να απαιτήσουν διαφορετικές θερμοκρασίες. Αν η επιθυμητή αντίσταση δεν είναι διαθέσιμη στον συνδυασμό του προϊόντος και των υλικών συστατικών, τότε η απόφασή μας θα πρέπει να βασιστεί στο ποιο χαρακτηριστικό έχει προτεραιότητα το είδος / μέγεθος προϊόντος, προτίμηση υλικών ή αναλογία αντίστασης.

γ) Ανοχή αντίστασης

Κατά την εξέταση των φυλλαδίων προδιαγραφών του προϊόντος, οι προμηθευτές ή οι κατασκευαστές παρέχουν συγκεκριμένες ανοχές. Τα θερμίστορ συνήθως παρουσιάζουν μια διανομή αντίστασης μηδενικής κατανάλωσης ισχύος:

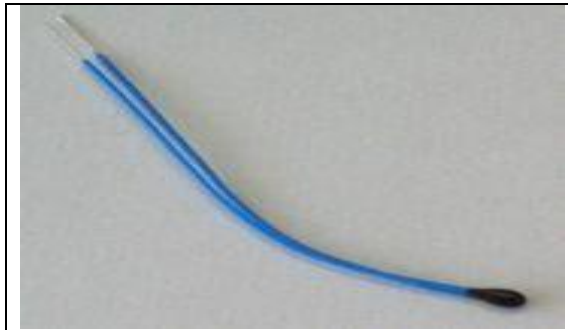
- από $\pm 20\%$ έως $\pm 25\%$ (θερμίστορ σφαιρικής μορφής)
- από $\pm 5\%$ έως $\pm 10\%$ (θερμίστορ μεταλλικής επιφάνειας)
- από $\pm 20\%$ και πάνω (θερμίστορ υπό μορφή νιφάδος)

Για εξοικονόμηση κόστους, οι κατασκευαστές προτείνουν προδιαγραφές της πιο ευρείας ανοχής, η οποία είναι σχετική με την προοριζόμενη χρήση. Τα θερμίστορ μεταλλικής επιφάνειας έχουν ένα πλεονέκτημα, καθώς το σχήμα τους μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να παράγει μικρότερο εύρος ανοχών.

δ) Ανοχή βήτα

Η ανοχή βήτα των θερμίστορ καθορίζεται κυρίως από τα μεταλλικά οξειδία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους. Οι ανοχές βήτα διαφέρουν μεταξύ των θερμίστορ σφαιρικής μορφής και μεταλλικής επιφάνειας. Παίζουν σημαντικό ρόλο στους περιορισμούς της αντίστασης, που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για να μπορέσουμε να καθορίσουμε την ακριβή εφαρμογή του. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν υψηλές και χαμηλές περιοχές

θερμοκρασιών, κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός την ονομαστικής αντίστασης στη θερμοκρασία λειτουργίας.



Σχήμα 1.19 NTC θερμίστορ, τύπου χάντρας

Υποθέτοντας, σε μια πρώτη προσέγγιση, ότι η σχέση μεταξύ αντίστασης και θερμοκρασίας είναι γραμμική, τότε:

$$\Delta R = k\Delta T$$

όπου

ΔR = μεταβολή της αντίστασης

ΔT = μεταβολή της θερμοκρασίας

k = συντελεστής θερμοκρασίας της αντίστασης

1.7. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

1.7.1 Εξίσωση Steinhart-Hart

Αυτή η εξίσωση αναφέρεται πάρα πολύ συχνά όταν μιλάμε για ένα θερμίστορ, ειδικά όταν θέλουμε να μετρήσουμε την ανοχή σε σχέση με τη θερμοκρασία των NTC θερμίστορ και NTC διατάξεων ηλεκτροδίων.

Δύο πράγματα που πρέπει να θυμόμαστε σχετικά με τα θερμίστορ είναι τα εξής:

- ∅ Η εξίσωση, στην καλύτερη περίπτωση, αποτελεί μια μαθηματική προσέγγιση. Απαιτούνται επιπλέον υπολογισμοί, όπως επίσης και σύγκριση της προκύπτουσας θερμοκρασίας ή των τιμών αντιστάσεων με δημοσιευμένα δεδομένα αντίστασης / θερμοκρασίας. Αυτά τα δεδομένα έχουν προκύψει από πραγματικές μετρήσεις. Θα υπάρχει μια πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ των τιμών που θα προκύψουν από την εξίσωση

Steinhart-Hart και των δημοσιευμένων δεδομένων. Αλλά αυτή η απόκλιση τυπικά είναι μικρότερη από $\pm 0,01^\circ \text{C}$. Παρά το γεγονός ότι αυτή η εξίσωση αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στον καθορισμό της ανοχής του θερμίστορ σε σχέση με τη θερμοκρασία του, η αλληλεξάρτηση που προκύπτει από τις πραγματικές μετρήσεις υποθέτει ιδανικές συνθήκες μέτρησης. Στην πράξη, η γραμμική ανωτέρω προσέγγιση λειτουργεί μόνο για ένα μικρό εύρος θερμοκρασιών. Για ακριβείς θερμοκρασιακές μετρήσεις, η καμπύλη αντίστασης/ θερμοκρασίας της συσκευής πρέπει να περιγραφεί λεπτομερέστερα. Η Steinhart-Hart εξίσωση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση τρίτου βαθμού:

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

όπου τα a , b και c ονομάζονται Steinhart-Hart παράμετροι, και πρέπει να προσδιοριστούν για κάθε συσκευή, T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς kelvin και το R η αντίσταση σε ohm. Για να μας δώσει η εξίσωση της αντίστασης R συνάρτηση της θερμοκρασίας, τα παραπάνω πρέπει να αλλάξουν σε:

$$R = e^{(\beta - \frac{\alpha}{2})^{\frac{1}{3}} - (\beta + \frac{\alpha}{2})^{\frac{1}{3}}}$$

όπου

$$\alpha = \frac{a - \frac{1}{T}}{c} \quad \beta = \sqrt{\left(\frac{b}{3c}\right)^3 + \frac{\alpha^2}{4}}$$

Το σφάλμα στην Steinhart-Hart εξίσωση είναι γενικά μικρότερο από 0.02°C κατά την μέτρηση της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, χαρακτηριστικές τιμές για ένα θερμίστορ αντίστασης 3000Ω σε θερμοκρασία δωματίου ($25^\circ\text{C} = 298.15 \text{K}$) είναι:

$$a = 1.40 \times 10^{-3}$$

$$b = 2.37 \times 10^{-4}$$

$$c = 9.90 \times 10^{-8}$$

Για να επιλύσουμε τους συντελεστές a , b και c πρέπει να μετρήσουμε το θερμίστορ σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι θερμοκρασίες πρέπει να χωριστούν κατά ομοιόμορφα διαστήματα και να απέχουν τουλάχιστον 10 βαθμούς. Χρησιμοποιώντας τις τρεις θερμοκρασίες θα μπορέσουμε να λύσουμε τρεις ταυτόσημες εξισώσεις.

$$1/T1 = a + b(\ln R1) + c(\ln R1)^3$$

$$1/T2 = a + b(\ln R2) + c(\ln R2)^3$$

$$1/T1 = a + b(\ln R3) + c(\ln R3)^3$$

Αυτές οι εξισώσεις της επιτρέπουν να εξάγουμε της συντελεστές a, b και c από οποιοδήποτε θερμοκρασιακό εύρος. Γνωρίζοντας της συντελεστές της για το θερμίστορ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση Steinhart and Hart με δύο τρόπους.

1. Αν είναι γνωστή η αντοχή και επιθυμείται η εύρεση της θερμοκρασίας τότε χρησιμοποιούμε την εξίσωση Steinhart and Hart.
2. Αν είναι γνωστή η θερμοκρασία και επιθυμείται η εύρεση της αναμενόμενης αντοχής τότε χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$R = e \exp [(\beta - (\alpha/2))^{1/3} - (\beta + (\alpha/2))^{1/3}]$$

$$\text{όπου } \alpha = (a - (1/T))/c \text{ και } \beta = [(b/3c)^3 + ((\alpha^2)/4)]^{1/2}$$

1.7.2 Εξίσωση παραμέτρου B

Τα NTC θερμίστορ μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν με την εξίσωση παραμέτρου B, η οποία ουσιαστικά η Steinhart Hart εξίσωση θέτοντας $c=0$.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right)$$

όπου η θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς kelvin.

$$R = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

ή

$$R = r_\infty e^{B/T}$$

ή

$$T = \frac{B}{\ln(R/r_\infty)}$$

Όπου:

R_0 είναι η αντίσταση σε θερμοκρασία T_0 (συνήθως $25^\circ\text{C}=298.15\text{ K}$)

$$r_\infty = R_0 \cdot e^{-B/T_0}$$

Πρότυπο διεξαγωγής.

Πολλά NTC θερμίστορ είναι κατασκευασμένα από έναν πεπιεσμένο δίσκο ή χυτό τσιπ ενός ημιαγωγού όπως οξειδίο συμπτυκνωμένου μετάλλου. Λειτουργούν επειδή η αύξηση της

θερμοκρασίας ενός ημιαγωγού αυξάνει τον αριθμό των ηλεκτρονίων, ικανά να κινούνται και να μεταφέρουν φορτίο— τα προάγει στην διεύθυνση της ζώνης. Όσο περισσότεροι μεταφορείς φορτίου είναι διαθέσιμοι, τόσο περισσότερο ρεύμα μπορεί ένα υλικό να μεταφέρει. Το γεγονός αυτό περιγράφεται στον παρακάτω τύπο:

$$I = n \cdot A \cdot v \cdot e$$

I	=	ηλεκτρικό	ρεύμα	(ampere)
n	=	μεταφερόμενη	πυκνότητα	(count/m ³)
A	=	διατομή	του υλικού	(m ²)
v	=	ταχύτητα	μεταφερόμενων φορτίων	(m/s)
$e =$ φορτίο ηλεκτρονίου ($e = 1.602 \times 10^{-19}$ coulomb)				

Το ηλεκτρικό ρεύμα μετριέται χρησιμοποιώντας αμπερόμετρο . Για μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, η βαθμολόγηση είναι απαραίτητη. Για μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές, εάν χρησιμοποιείται ο κατάλληλος ημιαγωγός, η αντίσταση του υλικού είναι γραμμικά ανάλογη προς τη θερμοκρασία. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά ημιαγωγά μεγέθη θερμίστορ τα οποία κυμαίνονται από 0.01 kelvin μέχρι 2,000 kelvin (-273.14°C έως 1,700°C).

1.7.3 NTC θερμίστορ – Υπολογισμός του Βήτα

Οι θερμικοί αντιστάτες NTC είναι μη γραμμικοί αντιστάτες που αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της αντίστασής τους με τη θερμοκρασία. Με απλά λόγια, καθώς η θερμοκρασία αυξάνει η αντοχή του θερμίστορ μειώνεται. Ο τρόπος με τον οποίο η αντοχή ενός θερμίστορ μειώνεται σχετίζεται με μια σταθερά γνωστή στη βιομηχανία θερμικών αντιστάσεων ως βήτα (β). Η σταθερά βήτα μετριέται σε °K και υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη διατύπωση:

$$B = \text{Ln}(R_{t1} / R_{t2}) / (1/T_1 - 1/T_2)$$

όπου, R_{t1} = η αντοχή στη θερμοκρασία 1, R_{t2} = η αντοχή στη θερμοκρασία 2, T_1 = η θερμοκρασία 1 σε βαθμούς °K, T_2 = η θερμοκρασία 2 σε βαθμούς °K

Η τιμή της σταθεράς βήτα ενός θερμίστορ NTC υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο δύο θερμοκρασίες εντός ενός συγκεκριμένου εύρους. Αυτός ο τρόπος δεν αποτελεί τον ακριβέστερο τρόπο υπολογισμού της καμπύλης R – T. Μια ακριβέστερη μέθοδος είναι η χρήση της μεθόδου Steinhart and Hart, η οποία χρησιμοποιεί τρεις θερμοκρασίες εντός ενός συγκεκριμένου εύρους.

1.7.4 Κατανάλωση ισχύος κυκλωμάτων και ανίχνευσης θερμοκρασίας.

Ένα άλλο κοινό πρόβλημα, το οποίο δημιουργεί σφάλμα στο κύκλωμα ανίχνευσης θερμοκρασίας, είναι και η κατανάλωση ισχύος.

Τοποθετημένο στην δεξιά μεριά του διαρέτη τάσεως της γέφυρας όπου είναι τοποθετημένος ο θερμικός αντιστάτης, με βάση τον νόμο του Ohm έχουμε:

$$I = V/R = 7.55\text{v}/6282 \Omega = 1.202 \text{ mA}$$

Η κατανάλωση ισχύος του θερμίστορ είναι ίση με:

$$I^2R = (0.0012)^2 (5282) = 0.0076\text{W} = 7.6\text{mW}$$

Αλλά αν ψάξουμε στο βιβλίο προδιαγραφών για το NT0310391, θα δούμε ότι η σταθερά κατανάλωσης ισούται με 4.50 mW/°C.

Γι' αυτό το λόγο, το σφάλμα που παρουσιάστηκε ως αυτοθερμαινόμενο θα μπορούσε να είναι τόσο μεγάλο όσο το $\text{Power}/\text{DC} = 7.6\text{mW}/4.50\text{mW} = 1.68^\circ\text{C}$, όπου Power = ισχύς και DC = συνεχές ρεύμα

Για την μείωση αυτού του σφάλματος μπορούμε είτε να χρησιμοποιήσουμε ένα εξάρτημα με υψηλότερη σταθερά κατανάλωσης ή να μειώσουμε την σταθερά παροχής ισχύος σταθερού ρεύματος σε 1.0-volt έξοδο, έτσι ώστε η συνολική απώλεια να είναι πολύ λιγότερη από την σταθερά κατανάλωσης.

Όλα αυτά αποτελούν βάσιμους λόγους για της οποίους η ένδειξη τάσης και η θερμοκρασία της δεν συσχετίζονται με ακρίβεια.

Επομένως, γιατί δεν χρησιμοποιούμε την καμπύλη αντοχής – θερμοκρασίας σε αντίθεση με το διάγραμμα γέφυρας; Ο λόγος είναι απλός. Το διάγραμμα γέφυρας παρέχει μια γραμμική ιδιότητα τάσης - θερμοκρασίας: $V=mT+C$ (εξ. 4) όπου: V = δείκτης τάσης, M = κλίση της γραμμής, C = σταθερά της εξίσωσης, T = θερμοκρασία. Με την χρήση της τάσης, θα ήταν πιο εύκολο να αποκωδικοποιήσουμε ή να μεταφράσουμε ή να στείλουμε σήματα όσον αφορά τη θερμοκρασία. Η ισοδύναμη καμπύλη αντοχής – θερμοκρασίας είναι μια μη-γραμμική εξίσωση: $1/T = a + b \ln R + C (\ln R)^2 + \dots$, η οποία είναι μια αρκετά πιο δύσκολη εξίσωση για επίλυση.

1.7.5 NTC θερμίστορ – Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω της γέφυρας Wheatstone.

Ένας από τους ευκολότερους τρόπους για την μέτρηση της θερμοκρασίας είναι να χρησιμοποιήσουμε την Γέφυρα Wheatstone. Σε κανονική λειτουργία της γέφυρας, το R3 είναι ένας μεταβλητός αντιστάτης ή ένα ποτενσιόμετρο. Θα μηδενίσουμε την γέφυρα στους 25° C

χρησιμοποιώντας το ποτενσιόμετρο τοποθετημένο στη θέση R3. Μετά, θα καταγράψουμε τις ενδείξεις τάσης – θερμοκρασίας της γέφυρας. Θα διαπιστώσουμε ότι είναι πολύ γραμμικές, ιδιαίτερα στο εύρος των 0° C έως 70° C. Με αυτόν τον τρόπο η τάση εξόδου αποτελεί έναν καλό δείκτη της θερμοκρασίας.

$$R1 / R3 = R2 / R_t$$

$$\text{όπου } R1 = 250\Omega, R2 = 1000\Omega, R3 = 2500\Omega, R_t = 10,000\Omega$$

Η τάση της γέφυρας σε διάγραμμα κυκλώματος (1) μπορεί τώρα να υπολογιστεί εύκολα χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$V_b = [R3 / (R1 + R3)] - [R_t / (R2 + R_t)] V_s \quad (\text{Εξ. 3})$$

$$\text{όπου } V_s = \text{πηγή τάσης} = 7.55 \text{ volt DC max και } V_b = \text{τάση γέφυρας}$$

Τώρα χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3 και την καμπύλη αντοχής – θερμοκρασίας για το NTC θερμίστορ μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια την τάση σε οποιαδήποτε θερμοκρασία ή και το αντίστροφο. Αυτό είναι πολύ ακριβές και επαναλαμβανόμενο καθώς τα ενισχυτικά μέσα της γέφυρας ευθυγραμμίζουν τις επιδράσεις των NTC. Παραδείγματος χάριν:

Προβλέπουμε την πτώση τάσης σε θερμοκρασία 40° C.

Στους 40° C γνωρίζουμε ότι $R_t = 5282\Omega$, από την καμπύλη Ametherm.

$$\text{Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3, } V_b = [2500/(2500+250)] - [5282/(5282 + 1000)] \cdot 7.55 \text{V} \\ = 0.5154$$

Με βάση το Πίνακα 1 έχουμε: $T= 39^\circ\text{C} \rightarrow 0.519\text{V}$ and $T= 38^\circ\text{C} = 0.482\text{V}$

Παρεμβαίνοντας στους 10° θερμοκρασίας °C θα έχουμε: $(0.519) - (0.482) / 10 = 0.0037$

Επομένως, αν αφαιρέσουμε $0.519 - 0.0037 = 0.5153 = 38.9^\circ\text{C}$

Αν και ο στόχος μας ήταν για τους 40° C, αυτό έγινε για να διευκρινιστεί η επίδραση του να επιλέγεις ένα εξάρτημα, το οποίο παρουσιάζει μια ανοχή $\pm 2.2^\circ\text{C}$.

Πίνακας 1: Θερμοκρασίες – Τάσεις

Θερμοκρασία σε Volts

DEG C	DCV	DEG C	DCV	DEG C	DCV	DEG C	DCV
-19.5	0.591	24	0.069	50	-0.974	76	-2.46
-19	0.589	25	0.002	51	-1.022	77	-2.54
-18.5	0.586	26	-0.019	52	-1.072	78	-2.6
-18	0.584	27	-0.06	53	-1.121	79	-2.66
-17	0.574	28	-0.1	54	-1.165	80	-2.71

-16	0.57	29	-0.137	55	-1.217	81	-2.78
-15	0.567	30	-0.175	56	-1.262	82	-2.83
-14	0.561	31	-0.213	57	-1.314	83	-2.88
-13	0.554	32	-0.248	58	-1.361	84	-2.92
-12	0.547	33	-0.289	59	-1.408	85	-2.97
-11	0.543	34	-0.326	60	-1.457	86	-3
-10	0.532	35	-0.368	61	-1.505	87	-3.06
-9	0.526	36	-0.403	62	-1.505	88	-3.08
-8	0.521	37	-0.443	63	-1.606	89	-3.11
-7	0.514	38	-0.482	64	-1.655	90	-3.16
-6	0.508	39	-0.519	65	-1.702	91	-3.2
-5	0.503	40	-0.558	66	-1.738	92	-3.25
-4	0.497	41	-0.598	67	-1.8	93	-3.29
-3	0.49	42	-0.638	68	-1.864	94	-3.33
-2	0.484	43	-0.681	69	-1.905	95	-3.39
-1	0.473	44	-0.718	70	-1.965	96	-3.44
0	0.456	45	-0.762	71	-2.1	97	-3.48
1	0.444	46	-0.8	72	-2.18	98	-3.55
2	0.456	47	-0.837	73	-2.26	99	-3.59
3	0.469	48	-0.887	74	-2.34	100	-3.63
23	0.117	49	-0.935	75	-2.39		

1.7.6 Υπολογισμός του Συντελεστή Θερμοκρασίας ενός Θερμίστορ.

Ο συντελεστής θερμοκρασίας ενός θερμίστορ έχει οριστεί ως η σχετική μεταβολή της αντοχής αποδιδόμενη στην μεταβολή της θερμοκρασίας. Ο πιο εύκολος τρόπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοκρασίας είναι μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$a = -b/T^2 \quad (\text{εξ. 2})$$

$$\text{όπου } b = \ln(R_{t1}/R_{t2}) / (1/T_1 - 1/T_2)$$

Ο συντελεστής θερμοκρασίας ενός θερμίστορ χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντοχής ενός θερμίστορ από άποψη θερμοκρασίας. Αυτός ο συντελεστής μετριέται σε βαθμούς Celcius επί τοις εκατό (%°C).

Για παράδειγμα: Έστω πως ένας πελάτης παραγγέλνει ένα θερμίστορ των 10.000W με ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Πως μπορούμε να το μεταφράσουμε αυτό από άποψη ανοχής αντίστασης σε διάφορες θερμοκρασίες;

Ο καθορισμένος αριθμός εξαρτήματος θα ήταν NT03 10391, με ένα βήτα στους 3950°C . Η ανοχή στους 25°C θα ήταν:

$$-3950^{\circ}\text{K} / (298.15)^2 = -4.44\% / ^{\circ}\text{C} \times \pm 0.5^{\circ}\text{C} = \pm 2.22\% \text{ στους } 25^{\circ}\text{C}.$$

Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να βρούμε την ανοχή σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και για οποιαδήποτε δεδομένη τιμή βήτα. Επίσης ισχύει και το αντίστροφο εάν θέλουμε να βρούμε την ακρίβεια του εξαρτήματος από άποψη θερμοκρασίας.

1.7.7 Κυκλώματα Αντιστάθμισης Θερμοκρασίας.

Η αντιστάθμιση θερμοκρασίας αποτελεί το πιο κοινό πρόβλημα των πηνίων ή των σωληνοειδών. Αυτά τα μεταλλικά εξαρτήματα παρουσιάζουν έναν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας με την αυξανόμενη θερμοκρασία. Καθώς το NTC τυπικά έχει έναν συντελεστή θερμοκρασίας που ποικίλει από -0.29% έως -0.51% , χρησιμοποιείται ένας σταθερός παράλληλος αντιστάτης ο οποίος θα χαμηλώσει τον συντελεστή θερμοκρασίας σε ένα χρησιμοποιούμενο όριο. Παραδείγματος χάριν, ο χαλκός έχει έναν συντελεστή θερμοκρασίας $0.5\% / ^{\circ}\text{C}$ και το αλουμίνιο έχει $0.26\% / ^{\circ}\text{C}$.

Παράδειγμα: Έστω ότι έχουμε ένα χάλκινο πηνίο με συντελεστή θερμοκρασίας $0.47\% / ^{\circ}\text{C}$ σε ένα εύρος θερμοκρασίας από -40°C έως $+200^{\circ}\text{C}$. Υποθέτουμε ότι η ανοχή του χαλκού είναι $9.40\Omega \pm 9.50\Omega$. Επιλέγουμε ένα θερμίστορ και ένα σταθερό αντιστάτη για να ελαχιστοποιήσουμε αυτή την επίδραση.

Αυτό το παράδειγμα αποτελεί μία κλασσική αυτοκινούμενη εφαρμογή ενός σωληνοειδούς. Σκοπός είναι να βρούμε το πιο κατάλληλο δίκτυο, το οποίο καταργεί την επίδραση της θετικής θερμοκρασίας ενός σωληνοειδούς. Στο συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας, αν το σωληνοειδές αφηθεί, μόνο του θα εκδηλώσει μία ανοχή που θα κυμαίνεται από 9.0Ω έως 18.0Ω . Πρόκειται για μία πολύ μεγάλη διακύμανση. Το ιδανικό εύρος θα ήταν αυτό που ισιώνει την καμπύλη στο κέντρο της, χωρίς να παρουσιάζει τόσο μεγάλη διακύμανση ανοχής. Η μέση ανοχή του χαλκού έχει υπολογιστεί να είναι $[(18-9)/2] + 9.4\Omega = 14.90\Omega$. Είναι περίπου 15.0Ω με διακύμανση $\pm 30\%$.

Το κύκλωμα στο διάγραμμα 2 απεικονίζει ένα θερμίστορ συνδεδεμένο παράλληλα με έναν άλλο σταθερό αντιστάτη και σε σειρά με το πηνίο. Η συνολική ανοχή υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Συνολική ανοχή} = R_{\text{πηνίου}} + [(R_{\text{θερμίστορ}})(R_{\text{αντιστάτη}})] / R_{\text{θερμίστορ}} + R_{\text{αντιστάτη}} = 15.0\Omega$$

Άρα, αν στο πηνίο αποδοθεί περίπου 9.40Ω ανοχής, τότε η συνολική ανοχή του σταθερού αντιστάτη και του θερμίστορ είναι $= 15 - 9.40 = 5.60\Omega$.

Η γραμμική εξίσωση εξομάλυνσης της καμπύλης του θερμίστορ είναι η ακόλουθη:

$$\text{Τιμή σταθερού αντιστάτη} = R_{\text{αντιστάτη}} = R_R$$

$$\text{Τιμή ανοχής θερμίστορ} = R_{\text{θερμίστορ}} = R_T$$

$$\text{Άρα η γραμμική εξίσωση είναι} = R_R = (\beta - 2T / \beta + 2T) (R_T) \quad (\text{εξ. 4})$$

όπου β = σταθερά υλικού = στο παράδειγμά μας $= 3150^\circ \text{K}$

T = θερμοκρασία του μεσοσημείου του λειτουργικού εύρους του δικτύου. Στην περίπτωση μας θα είναι $200^\circ \text{C} - (-40^\circ \text{C}) / 2 = 120^\circ \text{C}$. Επομένως η θερμοκρασία του μεσοσημείου θα είναι $200^\circ \text{C} - 120^\circ \text{C} = 80^\circ \text{C}$.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 4 έχουμε $R_R = 0.6337R_T$.

Τώρα, η συνολική ανοχή του σταθερού αντιστάτη και του θερμίστορ είναι $= 5.60\Omega$.

Η παράλληλη εξίσωση που περιγράφει την σχέση αυτών των δύο είναι:

$$R_R \cdot R_T / R_R + R_T = 5.60$$

Η αντικατάσταση του R_R αποδίδει $R_T = 14.43\Omega$

Επομένως, $R_R = 9.14\Omega$.

Ο αντιστάτης είναι καθορισμένος για ανοχή 1% και το θερμίστορ μπορεί κανονικά να έχει ανοχή 15%.

Ας εξετάσουμε την ιδιότητα αυτών των εξαρτημάτων σε ποικίλες θερμοκρασίες.

Στους 200°C το $R_T = 0.239\Omega$.

Επομένως, η συνολική ανοχή του δικτύου είναι $= R_{\text{πηνίου}} + \text{ανοχή σταθερού αντιστάτη και θερμίστορ, τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Ανοχή δικτύου} = R_{\text{πηνίου}} + 0.230\Omega$.

Συνολική ανοχή στους $200^\circ \text{C} = [(200^\circ \text{C} - 25^\circ \text{C})(0.47\% / ^\circ \text{C})](9.40 \Omega) + 9.40 + 0.230 = 17.36 \Omega$.

R_T στους $-40^\circ \text{C} = 222.4\Omega$

Συνολική ανοχή δικτύου στους $-40^\circ \text{C} = [(-40^\circ \text{C} - (25^\circ \text{C}))(0.48\% / ^\circ \text{C})(9.40)] + 9.40 + (1/9.14 + 1/222.4)^{-1} = 15.25 \Omega$.

Αυτό δείχνει πολύ μικρότερη διακύμανση απ' ό,τι το πηνίο από μόνο του.

Διακύμανση δικτύου $= 16.30\Omega \pm 6.5\%$

1.7.8 Ικανότητα Χειρισμού Ενέργειας

Σε εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται μόνο ένα θερμίστορ για τον περιορισμό του ρεύματος εισόρμησης αυτός ο υπολογισμός δεν είναι απαραίτητος, αλλά όταν ξεκινάμε να χρησιμοποιούμε 2 ή περισσότερα θερμίστορ τότε πρέπει να προσέχουμε ούτως ώστε η ενέργεια να μην υπερβεί την εκτιμώμενη τιμή.

Ας υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε 3 MS22 12103 σε σειρά, με αρχική ανοχή $\pm 25\%$ και ενέργεια λειτουργίας (ETH) = 250 Joules. Στην χειρότερη περίπτωση:

$$1^\circ \text{ NTC} = 120\Omega * 1.25 = 150\Omega$$

$$2^\circ \text{ NTC} = 120\Omega$$

$$3^\circ \text{ NTC} = 120\Omega * 0.75 = 90\Omega$$

$$\text{Πτώση τάσης 1} = 311.08\text{V στα } 150\Omega$$

$$\text{Πτώση τάσης 2} = 186.64\text{V στα } 120\Omega$$

$$\text{Πτώση τάσης 3} = 248.86\text{V στα } 90\Omega$$

$$\text{Η συνολική ενέργεια (ET)} = 655 \text{ Joules} = (I_p)^2 * (R) * \text{χρόνος}$$

Εφόσον ο χρόνος έκθεσης των δύο εξαρτημάτων είναι ο ίδιος, ο μοναδικός παράγοντας που αλλάζει είναι η ανοχή τους. Ως εκ τούτου, η ενέργεια που διανέμεται στα τρία αυτά θερμίστορ αποτελεί μέρος της ανοχής τους ως προς την συνολική ανοχής τους, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$E = (ET) (R_i/R_T)$$

$$E1 = (150/360) * 655 = 272.92 \text{ joules}$$

$$E3 = (120/360) * 655 = 218 \text{ joules}$$

$$E2 = (90/360) * 655 = 163.75 \text{ joules}$$

Όπως μπορούμε να δούμε το $E1 > ETH$, επομένως αυτό το εξάρτημα θα έχει πολύ πιο σύντομη ζωή σε σχέση με τα άλλα δύο θερμίστορ. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τη λύση με τον αναφερόμενο αριθμό εξαρτήματος θα πρέπει η ανοχή του θερμίστορ να είναι καλύτερη. Για να βρούμε την ανοχή, θα πρέπει να γνωρίζουμε το ακόλουθο:

$$(R_H/(R_H + 2 R_L))ET \leq ETH$$

όπου

$$R_H = (1 + (x/100))R \quad x = \text{η επιθυμητή ανοχή}$$

$$R_L = (1 - (x/100))R \quad x = \text{η επιθυμητή ανοχή}$$

Επομένως:

$$(((1 + (x/100))R) / (((1 + (x/100))R) + 2(1 - (x/100))R)) \leq (ETH / ET) =$$

$$(1+(x/100)) / ((1+(x/100)) + (2-(2*(x/100)))) \leq (ETH/ ET) =$$

$$(1+(x/100)) / (3-(x/100)) \leq (ETH/ ET) =$$

$$(1+(x/100)) / (3-(x/100)) \leq (250/655)$$

$$655(1+(x/100)) \leq 250 (3 - (x/100))$$

$$655 + 655(x/100) \leq 750 - 250(x/100)$$

$$905(x/100) \leq 95$$

$$R \leq 95/905$$

$$R \leq 0.105$$

$$x/100 \leq 10.57\%$$

Άρα η ανοχή πρέπει να είναι $\pm 10\%$ Nom.

1.8. Αισθητήρες Θερμίστορ NTC: Εφαρμογές

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ακρίβεια και τη σταθερότητα των thermistor, αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε πολυάριθμες εφαρμογές, από τις οποίες υπάρχουν τουλάχιστον τρεις γνωστοί τύποι:

- αισθητήρες για μέτρηση των επιφανειακών θερμοκρασιών
- αισθητήρες για μέτρηση θερμοκρασίας αερίου ή αέρα
- αισθητήρες για μέτρηση θερμοκρασίας υγρών

Οι αισθητήρες θερμικών αντιστάσεων είναι επίσης ευπροσάρμοστοι γιατί μπορούν να παραχθούν σε διάφορους συνδυασμούς:

- στοιχείο
- κατοικία
- connector
- ead configuration

Παρακάτω φαίνονται μερικά παραδείγματα για κάθε ένα τύπο εφαρμογών, στις οποίες οι αισθητήρες θερμίστορ μπορεί να είναι πολύ χρήσιμοι:

1.8.1 Αισθητήρες NTC Thermistor για μέτρηση αερίων/ θερμοκρασία του αέρα.

Σε αυτήν την κατηγορία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια ανοιχτή άκρη ώστε να μετρήσουμε θερμοκρασίες διάφορων αερίων ή του αέρα. Μερικά μοντέλα έχουν φλάντζα και είναι φτιαγμένα από ανοξείδωτο χάλυβα και είναι διαθέσιμα σε A&B επιλογές μολύβδου. Και πάλι, όπως και στους αισθητήρες NTC thermistor για μέτρηση επιφανειακών θερμοκρασιών, οι αγοραστές μπορούν να επιλέξουν την αντίσταση, την καμπύλη και την αντοχή που απαιτούνται.

1.8.2 Αισθητήρες NTC Thermistor για μέτρηση θερμοκρασιών Υγρών

Ένας δημοφιλής αισθητήρας thermistor είναι το closed-end ή ο σφαιρικός τύπος ο οποίος έχει πολλούς τρόπους για να μετρήσει θερμοκρασίες αερίων ή υγρών. Ο τύπος αυτός βγαίνει μόνο στην επιλογή A αλλά μπορούμε να τους προσαρμόσουμε στην απαιτούμενη αντοχή, αντίσταση και καμπύλη. Οι πιο συνηθισμένοι closed-end αισθητήρες thermistor φτιάχνονται από ανοξείδωτο χάλυβα. Μερικοί προμηθευτές πωλούν αυτό που ονομάζεται θερμική γέφυρα NTC thermistor. Μερικά από αυτά τα προϊόντα βελτιστοποιούνται ήδη για την ευθυγράμμισή τους, τη γραμμικότητά τους χωρίς να απαιτείται χειροκίνητο καλιμπράρισμα. Δεν απαιτούν επίσης εξωτερικό αντιστάτη. Αυτοί οι αισθητήρες είναι διαθέσιμοι σε διάφορες διαμορφώσεις και μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα μεγάλο εύρος τάσεων, έως και 48 VDC. Λειτουργούν σχεδόν χωρίς σφάλμα, όταν το στοιχείο θορύβου εισάγεται.

1.8.3 NTC θερμίστορ για Εμπορικούς και Στρατιωτικούς σκοπούς

Τα NTC θερμίστορ για εμπορικούς σκοπούς κυκλοφορούν σε δύο μοντέλα: σύνδεσης επιφάνειας και ηλεκτρικά.

Τα θερμίστορ σύνδεσης επιφάνειας χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να εκτελέσουμε λειτουργίες ανίχνευσης θερμοκρασίας. Η θερμική σταθερά χρόνου και η σταθερά κατανάλωσης ποικίλουν, με βάση το είδος της σύνδεσης. Υπάρχουν, επίσης, και θερμίστορ σύνδεσης επιφάνειας τα οποία μετρούν θερμοκρασίες σε καθορισμένες και περιορισμένες περιοχές, όπως παραδείγματος χάριν η περιοχή που περιέχει κρυστάλλους σε κυκλώματα ταλαντωτών. Τα θερμίστορ σύνδεσης επιφάνειας είναι σχεδιασμένα ώστε να προσαρμόζονται σε διαδικασίες συγκόλλησης, όπως επίσης και διαδικασίες συσκευασίας ταινιών και μπομπίνων.

Τα ηλεκτρικά NTC θερμίστορ, από την άλλη, υπάρχουν σε διάφορα είδη. Υπάρχουν τα εναλλάξιμα NTC θερμίστορ, τα οποία με απλά λόγια παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές αντιστάσεις και που μπορούν να ανιχνεύσουν μία καμπύλη αντίστασης – θερμοκρασίας. Τα περισσότερα από αυτά συνοδεύονται και από μονωμένα καλώδια. Ένα άλλο είδος είναι και αυτό των NTC θερμίστορ χωρίς καλώδια, τα οποία είναι κατάλληλα για μετρήσεις θερμοκρασιών χαμηλού κόστους, από -55°C έως $+150^{\circ}\text{C}$.

Τα NTC θερμίστορ για στρατιωτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται κυρίως για κρίσιμες εφαρμογές στα πεδία μετρήσεως της θερμοκρασίας, έλεγχο θερμοκρασίας και ισχύος, αλληλεπίδραση μικρο-επεξεργαστών και σταθεροποίηση ενισχυτών. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην περίπτωση που υβριδικά στοιχεία του κυκλώματος περιλαμβάνουν λειτουργίες σύνδεσης. Η ανοχή και οι συνδυασμοί καμπύλων είναι διαθέσιμα για σκοπούς προσαρμογής.

1.8.4 Αισθητήρες NTC Thermistor. Άλλες εφαρμογές.

Παραπάνω παρείχαμε πληροφορίες για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, παρόλα αυτά οι αισθητήρες NTC thermistor έχουν και άλλες χρήσεις:

- σε συσκευές μείωσης του ρεύματος εισροής και στα κυκλώματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Η αρχικά υψηλότερη αντίστασή του εμποδίζει τα υψηλά ρεύματα να τρέξουν καθώς η συσκευή αρχίζει να λειτουργεί.
- Πλαστική ελασματοποίηση/καυτή κόλλα, πυρασφάλεια
- φωτοαντιγραφικές μηχανές, βιομηχανικοί συγκολλητές σιδήρου
- εξοπλισμός χημικής ανάλυσης
- ιατρικά, εργαστηριακά και επιστημονικά όργανα και δοκιμές
- ίνες και φωτογραφικές επεξεργασίες, ηλιακούς, μετεωρολογικούς, γεωλογικούς και ωκεανογραφικούς ερευνητικούς εξοπλισμούς, καθώς επίσης και οικιακές συσκευές.
- Οι πιο ιδιαίτερες εφαρμογές περιλαμβάνουν: θερμοδομετρία, ωσμομετρία, βολτόμετρα και φασματογράφους.

Η πλειοψηφία των αισθητήρων NTC thermistor μπορεί επίσης να προσαρμοστεί ώστε να υποστηρίξει και άλλες βασικές ηλεκτρικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, οι current-time χρήσεις περιλαμβάνουν την χρονοκαθυστέρηση, την καταστολή κύματος και την διαδοχική μετατροπή. Μεταξύ αυτών είναι τα μανόμετρα, τα ανεμόμετρα, το αυτόματο κέρδος, έλεγχος εύρους και επιπέδων, έλεγχος υγρών επιπέδων και ταχύτητα ρευστού, ανάλυση θερμικής αγωγιμότητας καθώς και συσκευές ανίχνευσης αερίων.

Της Ametherm οι αισθητήρες NTC thermistor είναι η ιδανική λύση για προγράμματα που καλύπτουν μέσω – τρύπας εφαρμογές, ανίχνευση και αντιστάθμιση θερμοκρασίας καθώς επίσης και προστασία κυκλωμάτων. Μπορούν να σχεδιαστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη. Της Ametherm οι αισθητήρες thermistor έχουν ένα δύσκολο σχέδιο και έχουν εξεταστεί ως προς την αξιοπιστία τους κάτω από μεγάλα θερμοκρασιακά εύρη.

1.8.5 NTC Έλεγχοι θερμικών αντιστάσεων

Τα NTC θερμίστορ που κατασκευάζουμε είναι σχεδιασμένα για ανθεκτική απόδοση. Τυπικές εφαρμογές των NTC θερμίστορ της Ametherm περιλαμβάνουν: μέτρηση, έλεγχο και αντιστάθμιση θερμοκρασίας.



Σχήμα 1.19 NTC θερμίστορ για μέτρηση, έλεγχο και αντιστάθμιση θερμοκρασίας

Μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την αντίσταση ενός NTC θερμίστορ σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας τη σταθερά β , αλλά υπάρχει και ένας ακριβέστερος τρόπος για κάτι τέτοιο, χρησιμοποιώντας την εξίσωση Steinhart & Hart. Τα NTC θερμίστορ είναι επίσης μια άριστη εναλλακτική λύση στα στοιχεία κυκλώματος ημιαγωγών για την επίλυση σχετικών με την θερμοκρασία προβλημάτων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα για να υπολογίσουν τον συντελεστή θερμοκρασίας. Δίνονται οδηγίες για την χρήση των NTC θερμίστορ, ώστε να επιτύχουμε τις ακριβέστερες πιθανές μετρήσεις. Ένας από τους απλούστερους τρόπους για μέτρηση θερμοκρασίας με NTC Θερμίστορ είναι μέσω της γέφυρας Wheatstone. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε ένα κύκλωμα ανίχνευσης θερμοκρασίας με NTC θερμίστορ για να αποτελέσει το διασκεδασμό δύναμης. Επιπλέον, τα NTC θερμίστορ χρησιμοποιούνται συχνά για να αντισταθμίσουν τις αλλαγές στην θερμοκρασία στις σπείρες και τα σωληνοειδή. Κάποια βασική ορολογία μπορεί να είναι χρήσιμη ώστε να κατανοήσουμε τα θερμίστορ και τις πιθανές χρήσεις τους. Πρώτα απ' όλα η τυποποιημένη θερμοκρασία αναφοράς είναι 25°C , ή η θερμοκρασία σώματος thermistor όταν υποτίθεται μηδέν - η αντίσταση δύναμης φαίνεται. Αυτή η αντίσταση μηδενικής δύναμης είναι το συνεχές ρεύμα όταν η τιμή αντίστασης της θερμικής αντίστασης μετράτε σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία με έναν αρκετά χαμηλό διασκεδασμό δύναμης από το thermistor για περαιτέρω κατάληξη μείωσης δύναμης μικρότερης από το 1/10 από την ιδιαίτερη ανοχή μέτρησης ή ένα μηδενικό σημείο ένα τοις εκατό αλλαγής στην αντίσταση. Η αναλογία αντίστασης είναι ένα χαρακτηριστικό που προσδιορίζει την αναλογία αντίστασης μηδενικής τιμής (βραχυκύκλωσης) ενός θερμίστορ στους 125°C με την αντίσταση στους 25°C . Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας είναι η υψηλότερη θερμοκρασία σωμάτων στην

οποία το θερμίστορ μπορεί να λειτουργήσει με μια αποδεκτή σταθερότητα, για ένα εκτενές χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία αυτή δεν πρέπει να ξεπεράσει την υψηλότερη τιμή που διευκρινίζεται για κάθε θερμίστορ. Επιπλέον, η μέγιστη εκτίμηση δύναμης ενός θερμίστορ είναι η υψηλότερη δύναμη στην οποία το θερμίστορ θα λειτουργήσει για μια χρονική περίοδο, διατηρώντας την σταθερότητά του. Τα NTC θερμίστορ της Ametherm είναι διαθέσιμα σε μία σειρά σχεδίων για να ταιριάζουν σχεδόν σε οποιαδήποτε εφαρμογή. Όλα τα NTC θερμίστορ της Ametherm δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τα καλύτερα υλικά, για τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα NTC θερμίστορ της Ametherm μπορούν επίσης να εξατομικευτούν ώστε να ικανοποιήσουμε πλήρως τις ανάγκες μας.

1.8.6 Άλλες χρήσεις ενός NTC θερμίστορ

Τα NTC θερμίστορ χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα άλλων εφαρμογών. Πέρα από την χρησιμότητά τους στην καταστολή εισροής ρεύματος, η ακρίβεια των NTC θερμίστορ σε κάθε θερμοκρασία, η υψηλή σταθερότητα και η άριστη αξιοπιστία τους καθιστούν κατάλληλους και για άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές. Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές μέτρησης της θερμοκρασίας, έλεγχο της θερμοκρασίας, θερμοκρασιακή αντιστάθμιση, ρύθμισης τάσης, δημιουργία κυκλωμάτων χρονικής καθυστέρησης.

1.9 Αξιοπιστία ενός NTC Θερμίστορ

Η αξιοπιστία ενός θερμίστορ μπορεί να αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η εγγύηση ενός προϊόντος που περιλαμβάνει θερμίστορ. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι ένα θερμίστορ χρησιμοποιεί μια κίνηση μηχανών που θα συνεχιστεί κατευθείαν από την ανακύκλωση 15 φορές σε κάθε βάρδια επί 3 βάρδιες την ημέρα και έχει μια εγγύηση για 10 χρόνια. Κατόπιν για να βρούμε τη ζωή των προϊόντων χρησιμοποιούμε:

$(15\text{φορές}/\text{βάρδια}) \cdot (3\text{βάρδιες}/\text{ημέρα}) \cdot (365\text{μέρες}/\text{έτος}) \cdot 10\text{έτη} = 164,250$ κύκλοι που απαιτούνται.

Για να διασφαλίσουμε ότι το θερμίστορ μπορεί να αντέξει για πολύ χρησιμοποιούμε έναν υπολογισμό ο οποίος ονομάζεται Μέσος Χρόνος Πριν Την Αστοχία «Mean Time Before Failure» (MTBF), ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$MTBF = m = T_a / r$$

$$\text{Όπου } T_a = \sum T_i + (n-r)td$$

Όπου: T_i = κύκλοι ή χρόνος αστοχίας πριν από την ολοκλήρωση της δοκιμής

r = αριθμός των αποτυχιών

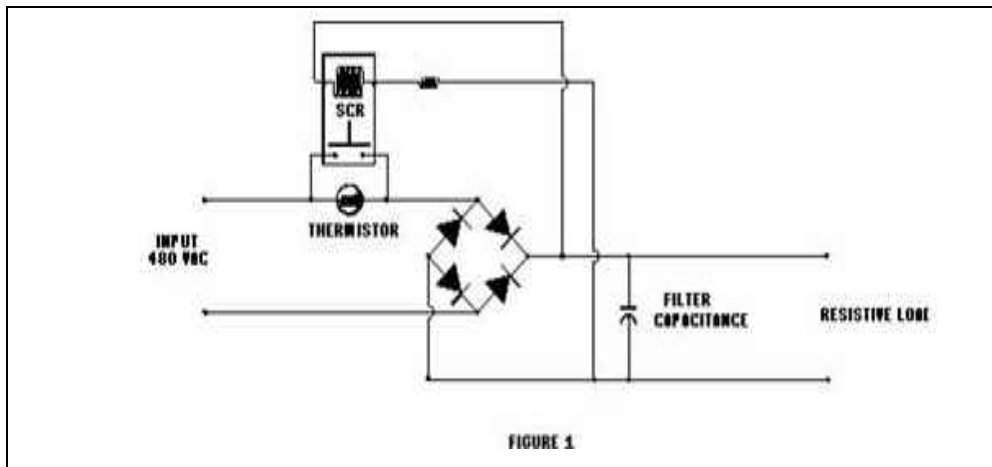
n =συνολικός αριθμός των δοκιμασμένων δειγμάτων

td = διάρκεια της δοκιμής

1.10. ΡΕΥΜΑ ΕΙΣΡΟΗΣ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

1.10.1 Επιλέγοντας έναν περιοριστή εισροής ρεύματος

Κατά την επιλογή μιας τέτοιας διάταξης, μερικοί από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η ενεργειακή εκτίμηση, το μέγιστο ρεύμα εισροής και η αντίσταση.



Σχήμα 1.20. Περιοριστής εισροής ρεύματος.

Το κύκλωμα δίνει:

Θερμοκρασία λειτουργίας= 40°C-85°C

Τάση εισαγωγής - 480 Vac

Εκτίμηση πορείας= ένας κύκλος @85A @ 25°C

T>50°C I<50Amp

Εκτίμηση ρεύματος = 30Amp max

Cap φίλτρων =2350μf Υπολογισμοί:

A) Υπολογισμός ελάχιστης αναγκαίας ενέργεια :

Ενέργεια = $1/2 C \cdot V^2 \pm 10\%$ χειρότερη περίπτωση λόγω της διακύμανσης γραμμών τάσης = $480V \cdot 1.1 = 528V$ $V_p =$ μέγιστη τάση = $528V \cdot 1.414 = 746.59V$ $E = 1/2 \cdot (2350 \cdot 10^{-6} F) \cdot (736.59)^2 = 655.00$ Joules.

(B) Για να προστατεύσουμε τη γέφυρα με ηλεκτρονόμο, το ανώτατο ρεύμα εισροής πρέπει να είναι λιγότερο από 30 amp.

Ελάχιστη απαιτούμενη αντίσταση = $V_p / (inrush)_{max} = 246.59V / 30A = 25 \Omega$.

(C) Από τότε που η θερμοκρασία του NTC είναι εξαρτώμενη, έπειτα επιλέγουμε το NTC με τουλάχιστον 25Ω / 655.00 Joules σε $85^\circ C$ στην χειρότερη περίπτωση. Αυτή τη στιγμή 3 πράγματα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

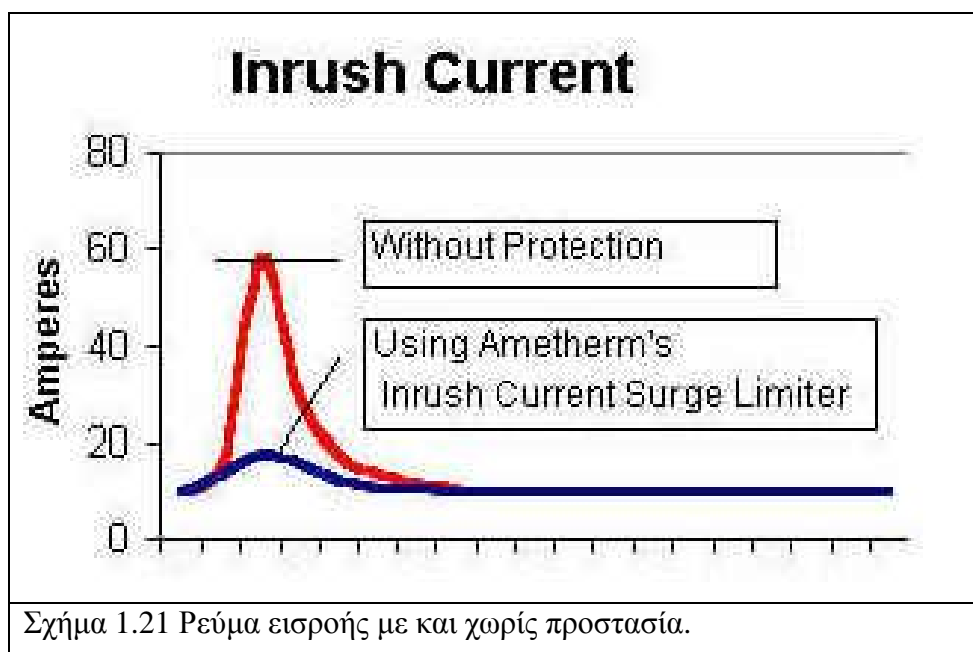
1) Κανένα NTC δε μπορεί να χειριστεί την ενέργεια και να έχει εκείνη την υψηλή αντίσταση.

2) Το κόστος γίνεται ένα ζήτημα (χρησιμοποιώ 2 μέγα μεγέθη κύματος 35 ή 3 μέγα μεγέθη κύματος 22 ή 32).

3) Χειρότερη συνολική αντίσταση περίπτωσης $85^\circ C = 3(\text{thermistors}) \cdot 17.16\Omega \cdot 0.75 = 38.61$. Αυτό ικανοποιεί τον όρο όπου το σύστημα του thermistor πρέπει να έχει μία ελάχιστη 25Ω αντίσταση. Επιπλέον κάθε ένα thermistor εκτιμάται για 250.00 joules για το σύνολο 750.00 joules.

1.10.2 Ρεύμα εισροής

Παροχές ηλεκτρικού ρεύματος μετατροπής, μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, και ο σταθερός φωτισμός μπορούν να αναπτύξουν εξαιρετικά υψηλά ρεύματα εισροής εκτός αν η προστασία εισροής ρεύματος χρησιμοποιείται. Χωρίς προστασία, τα μόνα όρια στο ποσό εισροής του ρεύματος είναι η σύνθετη αντίσταση γραμμών, πτώση διορθωτών εισαγωγής, και η ισοδύναμη αντίσταση σειράς πυκνωτών. Υψηλό ρεύμα εισροής μπορεί να έχει επιπτώσεις στα ηλεκτρικά συστήματα. Εάν η προστασία εισροής ρεύματος δεν είναι σε ισχύ, αναμεταδίδει και οι θρυαλλίδες πρέπει να χρησιμοποιηθούν που είναι εκτιμημένες υψηλότερα από οποιοδήποτε πιθανό ρεύμα εισροής. Το ρεύμα εισροής μπορεί επίσης να προκαλέσει τις κοιλαμένες επαφές στους διακόπτες και τους ηλεκτρονόμους λόγω του ότι σχηματίζεται τόξο επαφών. Το ρεύμα εισροής μπορεί να είναι 100 φορές υψηλότερο από το ρεύμα κανονικής λειτουργίας και διαρκεί κανονικά για λιγότερο από $1/2$ ενός κανονικού 60 hertz κύκλου.



1.10.3 Προστασία εισροής ρεύματος

Προστασία εισροής ρεύματος προσφέρεται από ένα ενεργό κύκλωμα, το οποίο χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό αντιστάσεων, θυρίστορ και triacs. Τα ενεργά κυκλώματα είναι γενικά ακριβά και δύσκολα στον σχεδιασμό. Μια άλλη επιλογή για προστασία εισροής ρεύματος είναι τα θερμίστορ NTC. Η Ametherm κατασκευάζει ένα τύπο NTC θερμίστορ ειδικά σχεδιασμένο για προστασία εισροής ρεύματος που ονομάζονται περιοριστές εισροής ρεύματος. Εκτιμάται ότι το 90% από τον περιορισμό εισροής ρεύματος χρησιμοποιείται για χρήση εφαρμογών. Τα κυκλώματα που χρησιμοποιούν περιοριστές εισροής ρεύματος είναι εύκολα στον σχεδιασμό και συμφέρουν οικονομικά σε σχέση με τα ενεργά κυκλώματα. Ένας περιοριστής εισροής ρεύματος χρησιμοποιείται σε σειρά με την τάση γραμμών. Κατά την έναρξη, παρουσιάζει υψηλή αντίσταση στο ρεύμα εισροής και γρήγορα μετακινεί τον εαυτό του από το κύκλωμα επιτρέποντας στο ηλεκτρικό σύστημα να συμπεριφερθεί κανονικά.

1.10.4 Παθητική ή ενεργή προστασία για ρεύμα εισροής

Υπάρχουν διάφορες αντικρουόμενες απόψεις για τον περιορισμό του ρεύματος εισροής. Οι δύο πιο κοινές εναλλακτικές είναι η χρήση NTC (Negative Temperature Coefficient) θερμίστορ ή διάφορες μορφές ενεργών κυκλωμάτων. Εντούτοις, η πιο κατάλληλη τεχνική καταστολής για κάθε εφαρμογή εξαρτάται από τα ζητήματα κόστους, το επίπεδο ισχύος του εξοπλισμού, και την συχνότητα με την οποία ο εξοπλισμός θα εκτίθεται στα ρεύματα

εισροής. Καμία λύση δεν είναι σε κάθε περίπτωση η καλύτερη. Κάθε άποψη έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

1.10.5 Τι είναι ο περιοριστής εισροής ρεύματος σε μία θερμική αντίσταση – (περιοριστής κύματος)

Οι περιοριστές εισροής ρεύματος είναι μεταξύ των πιο κοινών σχεδιαστικών επιλογών που χρησιμοποιούνται σε περιοχές μετατροπής ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να αποτρέψουν ζημιές από κύματα εισροής ρευμάτων. Ένα θερμίστορ είναι ένας θερμικά ευαίσθητος αντιστάτης με μια αντίσταση της οποίας η τιμή αλλάζει, καθώς η θερμοκρασία μεταβάλλεται. Η αντίσταση ενός περιοριστή κύματος θερμίστορ μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει. Όταν η εισροή ρεύματος περιορίζεται, αυτοθεμαίνεται, το ρεύμα αρχίζει να τον διατρέχει. Η αντίστασή του αρχίζει να μειώνεται και μια σχετικά μικρή ροή ηλεκτρικού ρεύματος δαπανάται στους πυκνωτές. Μετά τους πυκνωτές στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ο μόνος θερμαινόμενος περιοριστής εισροής ρεύματος προσφέρει μικρή αντίσταση στο κύκλωμα. Τόσο χαμηλή όπου η πτώση τάσης αποτελεί έναν ασήμαντο παράγοντα όσον αφορά την συνολική πτώση τάσης του κυκλώματος.

1.10.6 Τύποι ρεύματος εισροής που περιορίζονται για τις θερμικές αντιστάσεις

Περιοριστές εισροής ρεύματος είναι διαθέσιμοι σε ένα ευρύ φάσμα αρχικών επιπέδων αντίστασης και δυνατοτήτων μεταφοράς ρεύματος. Η Ametherm παράγει περιοριστές εισροής ρεύματος που κυμαίνονται από 0.2 μέχρι 220 ohm της αρχικής αντίστασης. Μερικά σχέδια εκτιμώνται για λιγότερο από ένα ampere ένα άλλα μέχρι και 36 ampere.

1.10.7 Είναι τα NTC Thermistors κοινά για την προστασία εισροής ρεύματος;

Μία πρόσφατη βιομηχανική μελέτη, που εκπονήθηκε από την Data και Strategies Group, Inc., Framingham, MA, δείχνει ότι τα NTC θερμίστορ είναι συντριπτικά ο δημοφιλέστερος τύπος συσκευής για καταστολή εισροής ρεύματος για τις παροχές ηλεκτρικού ρεύματος. Η έρευνα της DSG δείχνει ότι τα NTC θερμίστορ καταλαμβάνουν πάνω από το 90% της αγοράς για τέτοιου είδους εφαρμογές.

1.10.8 Χρόνος αποκατάστασης από έναν περιοριστή εισροής ρεύματος

Επειδή οι περιοριστές εισροής ρεύματος θερμαίνονται αφότου αναστείλουν ποσότητα εισερχόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, οι συσκευές αυτές απαιτούν ένα cool-down χρόνο αφότου το φορτίο απομακρυνθεί. Το cool-down ή χρόνος "αποκατάστασης" επιτρέπει στην αντίσταση του NTC θερμίστορ να αυξηθεί ώστε να είναι ικανή να ξεκινήσει τη ίδια

λειτουργία την επόμενη φορά που θα χρειαστεί. Ενός NTC cool-down χρόνος ποικίλει ανάλογα με την κάθε συσκευή , τον τρόπο λειτουργίας της και την περιβαλλοντική θερμοκρασία. Ο τυπικός χρόνος για να κρυώσει το θερμίστορ είναι κατά προσέγγιση ένα λεπτό.

1.10.9 Πλεονεκτήματα NTC thermistors για περιορισμό εισροής ρεύματος

Ένα πλεονέκτημα των NTC θερμίστορ απέναντι στα ενεργά κυκλώματα για την καταστολή εισροής ρεύματος είναι οι λιγότερες συστατικές δαπάνες. Ωστόσο, το ακριβές κόστος κάθε συστατικού εξαρτάται από το ύψος παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για το οποίο προορίζεται. Τυπικά, όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ισχύος, τόσο πιο ακριβό είναι και το κάθε συστατικό. Το κοστολογικό πλεονέκτημα των περιοριστών εισροής ρεύματος απέναντι στα ενεργά κυκλώματα μπορεί εύκολα να διευκρινιστεί με το ακόλουθο παράδειγμα, το οποίο είναι βασισμένο σε παροχή ισχύος ύψους 300W. Για να προσφερθεί προστασία κύματος εισροής με περιοριστές εισροής ρεύματος, τα μόνα συστατικά που απαιτούνται είναι δύο περιοριστές εισροής ρεύματος, με συνολικό κόστος \$.80 ή και λιγότερο και για τα δύο θερμίστορ. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα των περιοριστών εισροής ρεύματος είναι ο απλούστερος σχεδιασμός τους. Επειδή οι περιοριστές εισροής ρεύματος τυπικά περιέχουν λιγότερα συστατικά, είναι λιγότερο πολύπλοκα από τα ενεργά κυκλώματα. Στη συνέχεια, ένα απλούστερο σχέδιο μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την ικανότητα καταστολής εισροής ρεύματος από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά γενικό κανόνα, η χρήση περιοριστών εισροής ρεύματος για καταστολή εισροής ρεύματος απαιτεί μόνο το ένα πέμπτο του χρόνου που χρειάζεται για τον σχεδιασμό ενός συγκρίσιμου ενεργού κυκλώματος. Επιπλέον ο σχεδιασμός των περιοριστών εισροής ρεύματος παρέχει μεγαλύτερη απλότητα κατασκευής άρα και λιγότερες πιθανότητες σφάλματος. Ο λιγότερος αριθμός συστατικών μειώνει επίσης την πιθανότητα για κατασκευαστικές αστοχίες, ως αποτέλεσμα ελαττωματικών συστατικών.

α) Ενεργά κυκλώματα για το ρεύμα εισροής.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διάφοροι τύποι "ενεργών" κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται μερικές φορές ως εναλλακτικές λύσεις των NTC θερμίστορ (περιοριστές εισροής ρεύματος) για συγκεκριμένες εφαρμογές. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν triacs, αντιστάτες , και θυρίστορ. Εναλλακτική λύση ενεργού κυκλώματος αποτελεί το triac (η τιμή του κυμαίνεται περίπου στο \$1.00 για ισχύ 300W), συν έναν αντιστάτη (περίπου \$.60), συν το κύκλωμα που απαιτείται για να οδηγήσει το triac (\$.20 ή περισσότερο) μας δίνουν άθροισμα \$1.80. Παρά τα οικονομικά και σχεδιαστικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι

περιοριστές εισροής ρεύματος για καταστολή εισροής ρεύματος, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένα ενεργό κύκλωμα μπορεί να προσφέρει μια πιο κατάλληλη λύση. Για παράδειγμα, τα ενεργά κυκλώματα μπορούν μερικές φορές να είναι καλύτερη επιλογή από τους περιοριστές εισροής ρεύματος όταν "σε ένα καυτό καινούριο ξεκίνημα " οι ικανότητες είναι κρίσιμες. Το πλεονέκτημα σχετίζεται με τον cool down/ χρόνο αποκατάστασης που απαιτείται ώστε η αντίσταση από τον περιοριστή εισροής ρεύματος αυξηθεί απότομα ώστε να προσφέρει τα απαιτούμενα επίπεδα προστασίας από το ρεύμα εισροής. Εάν η δύναμη μειώνεται για μια περίοδο μικρότερη από τον απαιτούμενο χρόνο αποκατάστασης της αντίστασης, ας πούμε, για λίγα δευτερόλεπτα, το θερμίστορ δεν θα έχει την δυνατότητα να κρυώσει και να επανέλθει στο αρχικό επίπεδο αντίστασής του. Όταν η δύναμη επιστρέφει, η αντίσταση θα είναι πολύ χαμηλή ώστε να προσφέρει ικανοποιητική προστασία εισροής, έτσι τα κυκλώματα μπορούν να βλαφθούν κλπ. Τα ενεργά κυκλώματα παρέχουν μικρότερο διασκεδασμό ισχύος από τους περιοριστές εισροής ρεύματος σε υψηλότερα εύρη ισχύος (χαρακτηριστικά, πάνω από 300W). Επειδή τα ενεργά κυκλώματα δεν θερμαίνονται τόσο πολύ όσο τα NTC, οι απαιτήσεις για μείωση της θερμότητάς τους είναι μικρότερες.

β) Συνδυασμός NTC θερμίστορ και ενεργών κυκλωμάτων

Υπάρχει μια σχεδιαστική τεχνική, την οποία μπορούν οι μηχανικοί να χρησιμοποιήσουν ώστε να μειώσουν τα προβλήματα που προκύπτουν από τον χρόνο αποκατάστασης που χρειάζονται οι περιοριστές εισροής ρεύματος για να επανέλθουν στο αρχικό επίπεδο αντίστασής τους. Ουσιαστικά, αυτό περιλαμβάνει τέτοιον σχεδιασμό προστασίας εισροής ρεύματος ώστε να τίθενται οι περιοριστές εισροής ρεύματος έξω από το κύκλωμα αφού έχουν ολοκληρώσει την λειτουργία τους. Μετακινώντας τους από το κύκλωμα μόλις περάσει το αρχικό κύμα, τα θερμίστορ έχουν την δυνατότητα να κρυώσουν, έτσι είναι έτοιμοι να αποκριθούν σε ένα επόμενο κύμα μετά από μια πτώση δύναμης που εμφανίζεται έξω. Αυτή η τεχνική απαιτεί την προσθήκη είτε ενός ρελέ ή ένα triac συνδεδεμένο παράλληλα με τον περιοριστή εισροής ρεύματος, συν τα απαραίτητα κυκλώματα για τον έλεγχο της. Όλα τα συστατικά του κυκλώματος προστασίας πρέπει να είναι σε σειρά. Μόλις απορροφηθεί το ρεύμα εισροής από το θερμίστορ, τότε είτε το triac αρχίζει να καίγεται είτε το ρελέ κλείνει. Η απλούστερη μέθοδος από την τροφοδότηση αυτών των συστατικών είναι η ίδια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Μόλις αρχίσει η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, κλείνει το ρελέ ή αρχίζει να καίγεται το triac, βγάζοντας το θερμίστορ έξω από το κύκλωμα, επιτρέποντάς του να κρυώσει και να επανακτήσει την αρχική του αντίσταση, έτσι ώστε να είναι έτοιμο να παρέχει την προστασία εισροής ρεύματος.

γ) Ειδικό ρεύμα εισροής ορίου θερμικών αντιστάσεων

Υψηλό ρεύμα εισροής μπορεί να παραχθεί όταν οι συσκευές ανάβουν. Αν δεν έχουν γίνει τα απαραίτητα βήματα για τη μείωση του ρεύματος εισροής, οι συσκευές μπορεί να πάθουν ζημιά και να μειωθεί η διάρκεια ζωής τους. Ένας ασφαλής και οικονομικός τρόπος μείωσης του ρεύματος εισροής είναι η χρήση ενός περιοριστή εισροής ρεύματος (περιοριστής κύματος), ο οποίος είναι ένας ειδικός τύπος αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC) θερμίστορ. Κατασκευασμένος από υλικά με μεγάλη αντοχή και διάρκεια ζωής σε υψηλές θερμοκρασίες, η αντίσταση ενός NTC θερμίστορ πέφτει λογαριθμικά καθώς η θερμοκρασία του αυξάνει. Η λειτουργία ενός περιοριστή κύματος αφορά, πρώτον, το να μπλοκάρει το ρεύμα εισροής και μετά να τεθεί εκτός κυκλώματος. Μπλοκάρει το εισερχόμενο ρεύμα με ακίδα παρέχοντας μια σχετικά υψηλή αντίσταση καθώς ξεκινά η λειτουργία. Τυπικά εύρη αντιστάσεων κυμαίνονται από 0.25 ohm μέχρι 220 ohm, ανάλογα με το επιθυμητό είδος προστασίας. Καθώς το ρεύμα ρέει διαμέσου του περιοριστή κύματος, η αντίσταση πέφτει από millisecond έως και 0.01 ohm, τιμή η οποία πρακτικά το θέτει εκτός κυκλώματος. Ακόμη κι αν ένας τυπικός αντιστάτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην θέση ενός περιοριστή εισροής ρεύματος, υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα χρησιμοποιώντας ένα περιοριστή κύματος. Ένας περιοριστής κύματος χαρακτηριστικά καταλαμβάνει τον μισό χώρο από έναν όμοιο αντιστάτη, προσφέρει υψηλότερο επίπεδο μείωσης ρεύματος εισροής, και η αντίστασή του πέφτει σε ένα αμελητέο επίπεδο. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του περιοριστή κύματος για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το ποσό του ρεύματος εισροής που είναι επιθυμητό, το ρεύμα μένει σταθερό, και το ποσό της ενέργειας που θα απορροφήσει. Του περιοριστή κύματος η αντίσταση καθορίζει μέχρι ποιο σημείο το ρεύμα εισροής θα μειωθεί. Κατά την έναρξη της παροχής του περιοριστή κύματος παρέχουν ολόκληρη σχεδόν την αντίστασή τους επειδή οι μεγάλοι πυκνωτές δρουν ως ένα μικρό κύκλωμα. Με μια εισαγωγή 120 Vrms, η πιθανή μέγιστη τάση είναι 170V. Για να περιοριστεί το μέγιστο ρεύμα σε μία τιμή κάτω των 20A, χρησιμοποιούμε τον Νόμο του Ohm για να βρούμε την απαιτούμενη αντίσταση έναρξης του περιοριστή κύματος:

$$V_{\text{μεγ}}/I_{\text{μεγ}} = R_{\text{min}} \\ 170\text{V}/120\text{A} = 8.5 \text{ ohm.}$$

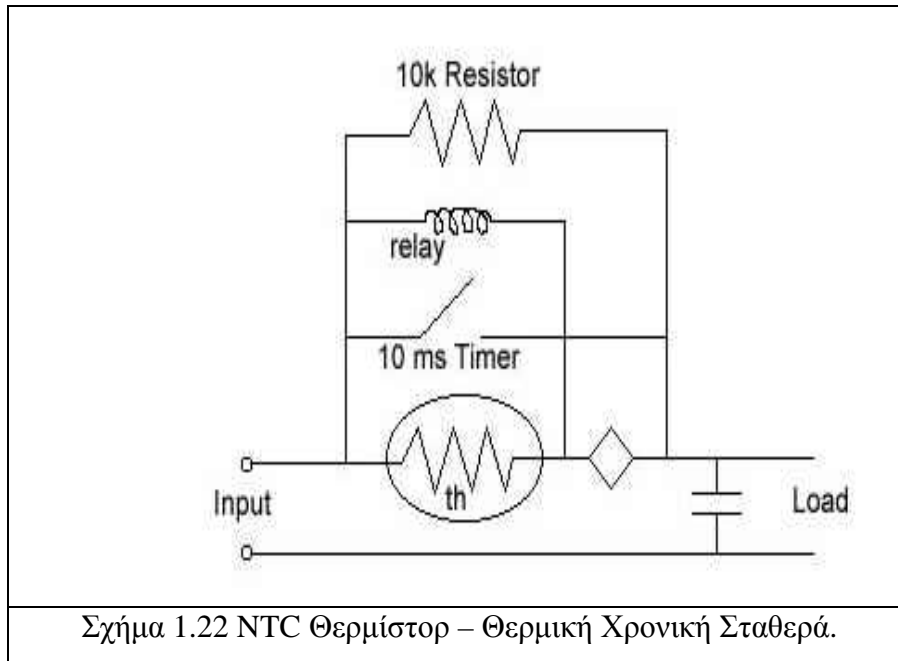
Οι περισσότεροι περιοριστές κύματος λειτουργούν με ανοχή από 15% έως 20%. Σε αυτήν την περίπτωση ένας 10 ohm περιοριστής κύματος θα ήταν μια καλή επιλογή. Ένας περιοριστής κύματος πρέπει να επιλεγεί για τουλάχιστον ίδιο σταθερό ρεύμα με το κύκλωμα που σχεδιάζεται. Ενώ το μέγιστο ρεύμα μπορεί να είναι πολύ υψηλό σε διεγερτικό, το ρεύμα

σταθερής ισχύος θα είναι κάπως χαμηλότερο. Για να επιλέξουμε τυχόν καλύτερο περιοριστή κύματος για μια εφαρμογή, επιλέγουμε τον μικρότερο διαθέσιμο για το κατάλληλο ρεύμα. Δεν υπάρχει καμία ανάγκη στο derate στον περιοριστή κύματος επειδή οι περισσότεροι κατασκευαστές ήδη derate οι προδιαγραφές ρεύματος σταθερής ισχύος. Τα πλεονεκτήματα του να διαλέξουμε τον μικρότερο δυνατό περιοριστή κύματος είναι ο μικρότερος χώρος που θα καταλαμβάνει, θα παράγεται λιγότερη θερμότητα, η αρχική αντίσταση θα είναι χαμηλότερη, και το κόστος θα είναι γενικά μικρότερο. Όπως επισημάνθηκε και παραπάνω, οι μεγάλοι πυκνωτές φίλτρων εμφανίζονται ως ένα μικρό κύκλωμα κατά την έναρξη της λειτουργίας. Σύντομα, οι πυκνωτές αναπτύσσουν ενέργεια ίση με CV^2 , όπου C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή και V η μέγιστη τάση. Αυτή η δαπάνη είναι το ποσό ενέργειας που πρέπει να αντισταθεί από τον περιοριστή εισροής ρεύματος, εκφρασμένη σε Joule. Το μέγεθος και η ποιότητα μιας κατασκευής καθορίζουν γενικά το ποσό της ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από έναν περιοριστή κύματος. Επομένως, χρειάζεται προσοχή στην επιλογή ενός περιοριστή κύματος με ικανοποιητική δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας. Ο περιοριστής εισροής ρεύματος τοποθετείται κανονικά σε σειρά με την δίοδο, τον κινητήρα, ή άλλα συστατικά ενός συστήματος που ωφελούνται από την προστασία εισροής. Για επιπλέον προστασία, μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά δύο περιοριστές κύματος.

1.11 Θερμική Χρονική Σταθερά

Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας περιοριστής εισροής ρεύματος να ανέλθει στο 50% της αρχικής του αντίστασης ονομάζεται Θερμική Χρονική Σταθερά. Η Θερμική Χρονική Σταθερά είναι διαφορετική για κάθε περιοριστή εισροής ρεύματος με βάση την μάζα του. Εάν η συσκευή μας χρειάζεται να ανοίγει και να κλείνει επανειλημμένα και χρειάζεται να σταματήσουμε την εισροή του ρεύματος, τότε το παρακάτω κύκλωμα πρέπει να δουλέψει για εμάς:

Χρειάζεται να διαλέξουμε το σωστό ρελέ για την εφαρμογή μας ώστε να το χρησιμοποιήσετε μαζί με τον περιοριστή ρεύματος. Το χρονόμετρο είναι μισός κύκλος ή 10 millisecond. Μπορούμε να χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερο χρονόμετρο εάν είναι απαραίτητο. Το κύκλωμα αυτό επιτρέπει στον περιοριστή εισροής ρεύματος να ρίξει την εισροή και μετά τίθεται ολοκληρωτικά εκτός κυκλώματος. Κατά συνέπεια, θα χρειαστεί πολύ λίγος χρόνος για να κρυώσει.



1.11.1 Μελέτη περίπτωσης, Ρεύμα εισροής σε μετασχηματιστές.

Υποθέτουμε ότι έχουμε έναν 2.0KVA μετασχηματιστή με τις παρακάτω προδιαγραφές:
 Το μέγιστο Ρεύμα εισροής εμφανίζεται σε έναν κύκλο = 564 Amps όπως μετριέται στο πεδίο.

Το πρακτικά μέγιστο Ρεύμα εισροής εμφανίζεται σε 5 κύκλους = 188.0 Amps όπως μετριέται στο πεδίο.

Τάση	εισαγωγής	=	120VAC
Περιβαλλοντική	θερμοκρασία	=	80°C.
Συχνότητα	=	60	Hz.

Απόδοση του μετασχηματιστή= 70%.

Επιλέγουμε ένα θερμίστορ το οποίο θα μείωνε το ρεύμα εισροής στο επαγωγικό κύκλωμα που περιγράφεται ανωτέρω.

ΛΥΣΗ:

- Υπολογισμός του ρεύματος κανονικής λειτουργίας : (KVA του μετασχηματιστή)= (αποδοτικότητα του μετασχηματιστή) X (Ελάχιστη τάση εισαγωγής) =
 $2.0 \text{ KVA} / (0.70) \times (90) = 31.75 \text{ Amps.}$
- Υπολογισμός του μέγιστου ποσού ενέργειας που η θερμική αντίσταση πρέπει να έχει:
 Επαγωγική ενέργεια = $X (L) (I)^2 I$ Αιχμή
 564 Ohms Επαγωγική αντίσταση = $XL = 2 \times (p) \times (F) \times (L)$
 Τάση γραμμών / Ανώτατο μέγιστο ρεύμα για έναν κύκλο:

$$120 \text{ VAC} / 564 \text{ Amp} = 0.213 \text{ ohm.}$$

- Υπολογισμός αυτεπαγωγής:

$$L = (XL) / (2) \times (p) \times (f) = (0.213W) / (2) \times (3.142) \times (60) = 0.000565 = 565 \text{ Milli Henry.}$$
- Ως εκ τούτου η ενέργεια

$$= X (L) \times (I)^{**2}$$

$$= X (0.000565) \times (564)^{**2} @ 90.0 \text{ Joules.}$$
- Από τον περιβάλλον είναι 80°C και οι θερμικές αντιστάσεις εκτιμώνται μέχρι 65°C για το ρεύμα λειτουργίας τους, κατόπιν η μείωση του παράγοντα πρέπει να κερδιστείτε στον απολογισμό.
 Χρησιμοποιώντας μείωση ρεύματος στους 80°C, χρησιμοποιεί το 90% του μέγιστου εκτιμημένου σταθερού ρεύματος.

$$= 0.90 \times 36 \text{ Amps} = 32.40 \text{ Amps.}$$
- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιεσδήποτε από τις συσκευές που εκτιμώνται μέχρι 36.0 Amp που τις συναντάμε σε SSI και σε ενεργειακές ανάγκες.

1.12. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

NTC θερμίστορ. Βεβαίωση των ακριβών μετρήσεων

Όταν κάποιος εργάζεται με όργανα θερμίστορ (θερμικής αντίστασης), τα οποία εμβαπτίζονται σε νερό, είναι πολύ πιθανό να παρουσιαστεί ένα σφάλμα, το οποίο συχνά αγνοείται. Αυτό το σφάλμα είναι γνωστό ως « επίδραση του στελέχους βύθισης ».

1.12.1 Επίδραση του στελέχους βύθισης

Πρόκειται για μία επίδραση σφάλματος, η οποία εμφανίζεται όταν ένα δοκιμαστικό ηλεκτρόδιο του οργάνου θερμικής αντίστασης βρίσκεται σε θερμοκρασία διαφορετική από τη θερμοκρασία του δείγματος. Μια απλή μέθοδος για τον καθορισμό των επιδράσεων των στελεχών είναι να εισαχθεί, με αργό ρυθμό, το ηλεκτρόδιο περαιτέρω μέσα σε ένα δείγμα, το οποίο έχει περίπου την θερμοκρασία δοκιμής, και παράλληλα να παρατηρούνται οι αλλαγές του θερμίστορ στην αντοχή, για να καθοριστεί το πότε δεν παρατηρείται περαιτέρω αλλαγή

με περαιτέρω εμβύθιση. Όταν καμία περαιτέρω αλλαγή δεν παρατηρείται, το σφάλμα επίδρασης των στελεχών έχει εξαλειφθεί.

1.12.2 Περιορισμός της επίδρασης του στελέχους βύθισης

- 1) Η εμβύθιση θα πρέπει να πραγματοποιείται σε βάθος ίσο με 10 φορές τη διάμετρο του ηλεκτροδίου.
- 2) Ο όγκος του δείγματος δεν θα πρέπει να είναι λιγότερος από 1,000 φορές από τη μάζα του θερμικού αντιστάτη.

1.13. ΣΕΙΡΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ NTC ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Το ηλεκτρόδιο THX – 400 – GP, κατάλληλο για χρήση με συσκευή HDX, είναι ιδανικό για μετρήσεις εμβύθισης γενικού σκοπού σε αέρια και υγρά. Είναι φτιαγμένο από ενισχυμένο 1/8” (3,1 mm) O.D. 304 ανοξείδωτο χάλυβα περιβλήματος 12” (304 mm) και μπορεί να προσαρμοστεί στις περισσότερες εφαρμογές επεξεργασίας. Χρησιμοποιείται ένα στοιχείο θερμίστορ 44033 υψηλής ακρίβειας (2252 ohm, +25° C), το οποίο παρέχει εναλλαξιμότητα 0,1° C και εύρος θερμοκρασίας από -40 έως 100° C (-40 έως 212° F).

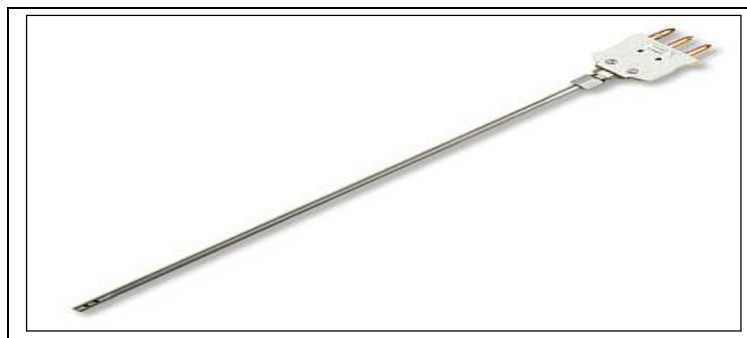


Σχήμα 1.23 Μεταλλικό Ζευγάρι άκρου επαφής Thermistor με ανθεκτικές σε καταπόνηση HDX Λαβές και τυποποιημένο μέγεθος συνδέσεων. Γρήγορη αποσύνδεση THX-400 Σειρά μεταλλικού άκρου επαφής Thermistor

Το μοντέλο THX – 400 – AP είναι σχεδιασμένο για HVAC εφαρμογές. Το περίβλημα μικρής διαμέτρου και το προστατευτικό κάλυμμα ακτινοβολούμενης ενέργειας μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε δίκτυα αγωγών, πλέγματα και σε αεραγωγούς. Το ηλεκτρόδιο μπορεί να λειτουργήσει με την συσκευή OMEGA HDX, ή μπορεί να τοποθετηθεί μόνιμα χρησιμοποιώντας εξαρτήματα συμπίεσης OMEGALOK. Είναι φτιαγμένο από ενισχυμένο 3/16” (4,8 mm) O.D. 304 ανοξείδωτο χάλυβα περιβλήματος 12” (304 mm) και η άκρη του

είναι διάτρητη ώστε να εκθέτει τη ροδέλα του θερμίστορ σε ροή αέρα για γρήγορες και ακριβείς μετρήσεις. Το θερμίστορ ακριβείας 44033 μπορεί να προσεγγίσει θερμοκρασίες έως 100° C (212° F).

Το ηλεκτρόδιο THX – 400 – NP χρησιμοποιείται με ενισχυμένη συσκευή HDX. Μπορεί εύκολα να διαπεράσει από μαλακά και ελαφρώς παγωμένα υλικά καθώς επίσης έδαφος και άμμο. Είναι φτιαγμένο από ενισχυμένο 1/8” (3,1 mm) O.D. 304 ανοξείδωτο χάλυβα περιβλήματος 12” (304 mm). Χρησιμοποιείται ένα στοιχείο θερμίστορ 44033 υψηλής ακριβείας το οποίο παρέχει εναλλαξιμότητα 0,1° C και εύρος θερμοκρασίας από -40 έως 100° C (-40 έως 212° F).



Σχήμα 1.24 Ηλεκτρόδια θερμίστορ της σειράς 700 για χρήση σε συσκευές βαρέων έργων
Ηλεκτρόδιο της σειράς THX – 700

Τα ηλεκτρόδια THX – 700 είναι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν μαζί με συσκευές HDX βαρέων έργων. Το κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από ένα OTP – χάλκινο συνδετήρα τερματισμού 3 βυσμάτων και από γραμμικό στοιχείο θερμίστορ ακριβείας 44018, που προσεγγίζει θερμοκρασίες έως τους 212° F, και το οποίο μπορεί να λειτουργήσει μαζί με όλα όργανα ανάγνωσης δεδομένων που είναι σχεδιασμένα για ηλεκτρόδια της σειράς 700.

1.13.1 Γρήγορη αποσύνδεση

Ηλεκτρόδια γενικών σκοπών:

Χρησιμοποιούνται για μετρήσεις εμπύθισης σε υγρά και αέρια για γενικούς σκοπούς. Είναι φτιαγμένα από ενισχυμένο 1/8” (3,1 mm) O.D. 304 ανοξείδωτο χάλυβα περιβλήματος 12” (304 mm) και μπορούν να προσαρμοστούν στις περισσότερες εφαρμογές επεξεργασίας.

Ηλεκτρόδια διείσδυσης:

Μπορούν εύκολα να διεισδύσουν μέσα από μαλακά και ημι-παγωμένα υλικά καθώς επίσης από έδαφος και άμμο. Είναι φτιαγμένα από ενισχυμένο 1/8" (3,1 mm) O.D. 304 ανοξείδωτο χάλυβα περιβλήματος 12" (304 mm).

Ηλεκτρόδια αέρος:

Είναι σχεδιασμένα για HVAC εφαρμογές. Το περίβλημα μικρής διαμέτρου και το προστατευτικό κάλυμμα ακτινοβολούμενης ενέργειας μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε δίκτυα αγωγών, πλέγματα και σε αεραγωγούς. Το ηλεκτρόδιο μπορεί να λειτουργήσει με την συσκευή OMEGA HDX, ή μπορεί να τοποθετηθεί μόνιμα χρησιμοποιώντας εξαρτήματα συμπίεσης OMEGALOK.



Σχήμα 1.25 Ηλεκτρόδια θερμίστορ γραμμικής απόκρισης με καλώδιο που τερματίζονται σε 3 απογυμνωμένους πόλους OL-700 Σειρά

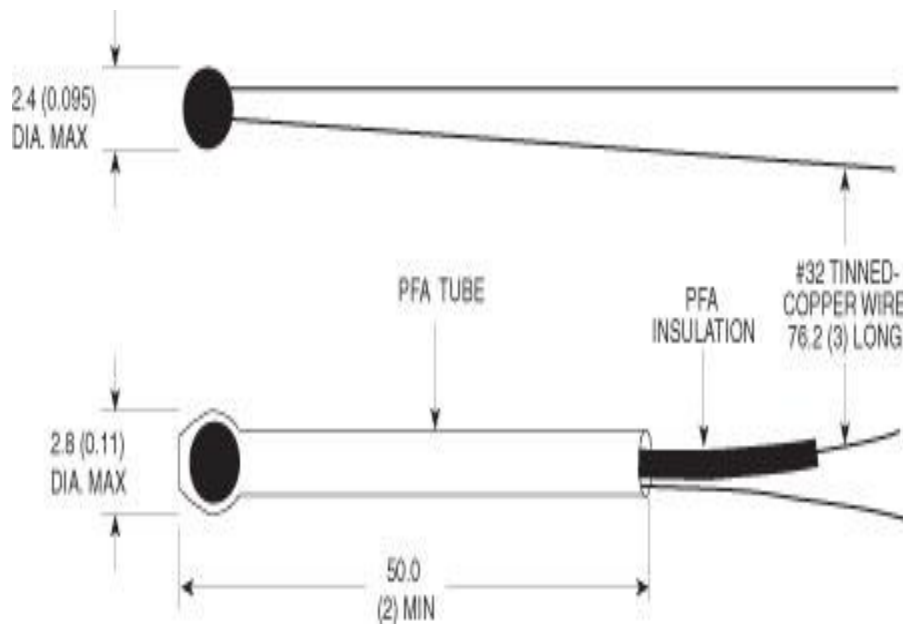
Τα ηλεκτρόδια θερμοκρασίας της σειράς 700 με τρία απογυμνωμένα καλώδια χρησιμοποιούν το σύνθετο θερμίστορ 44018 ως αισθητήρα γραμμικής θερμοκρασίας. Υπό ειδικές παραγγελίες, τα ηλεκτρόδια αυτά μπορούν να κατασκευαστούν και με σύνθετα θερμίστορ 44019. ο σκοπός της συγκεκριμένης σειράς ηλεκτροδίων είναι να παρέχει ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρόδιο συναρμολόγησης για χρήση με κυκλώματα που απαιτούν σύνθετα γραμμικά θερμίστορ 44018 ή 44019.

1.13.2 Στοιχεία θερμίστορ ακριβείας σειράς 44000.

Κατασκευή:

Τα θερμίστορ αυτά είναι κατασκευασμένα από οξείδια νικελίου, μαγγανίου, σιδήρου, κοβαλτίου, μαγνησίου, τιτανίου και άλλα μέταλλα. Όλα είναι διαθέσιμα εγκλεισμένα σε

εποξειδικό υλικό και κωδικοποιημένα χρωματικά, με δύο καλώδια των 3". Τα θερμίστορ με εναλλαξιμότητα 0,2° C είναι επίσης διαθέσιμα εγκλεισμένα σε αδιάβροχο PFA σωλήνα μήκους 2". Για παράδειγμα, το 44005 είναι ένα συγκεκριμένο θερμίστορ 3000 ohm, το 44105 είναι ένα θερμίστορ εγκλεισμένο σε PFA με τις ίδιες τιμές θερμοκρασίας / αντίστασης. Ένα δύσκαμπτο καλώδιο είναι τοποθετημένο μέσα στο σωλήνα, ώστε με μια ελαφριά πίεση των δακτύλων μπορεί να καμφθεί προς οποιαδήποτε μορφή.



Σχήμα 1.26 Θερμίστορ ακριβείας σειράς 44000

Σταθερότητα:

Τα ολοκληρωμένα θερμίστορ είναι χημικώς σταθερά και δεν επηρεάζονται σημαντικά από το πέρασμα του χρόνου ή από ισχυρά πεδία δυνατής πυρηνικής ακτινοβολίας.

Σταθερά χρόνου: ο χρόνος που απαιτείται για ένα θερμίστορ να υποδείξει το 63% μιας πρόσφατα εκδηλωμένης θερμοκρασίας καλείται σταθερά χρόνου. Για ένα θερμίστορ εξαρτώμενο από τους ηλεκτρικούς αγωγούς του σε ένα «καλά αναδευμένο» μίγμα λαδιού, είναι 1sec. max., ή 2,5sec. max. για θερμίστορ εγκλεισμένα σε PFA, και σε συνθήκες νηνεμίας είναι 10sec. max., ή 25sec. max. για μονάδες PFA.

Σταθερά κατανάλωσης:

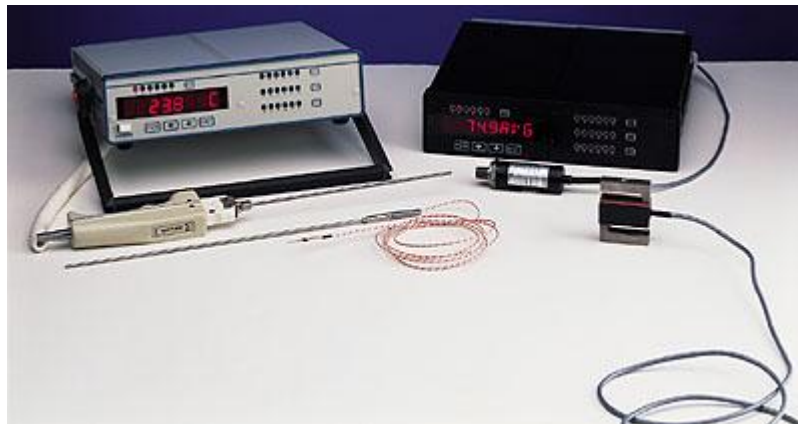
Ως σταθερά κατανάλωσης ονομάζεται η ενέργεια σε milliwatts που απαιτείται για την αύξηση ενός θερμίστορ κατά 1° C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για όλα τα θερμίστορ εξαρτώμενα από τους ηλεκτρικούς αγωγούς τους σε ένα «καλά αναδευμένο»

λουτρού ελαίων είναι $8\text{mW}/^{\circ}\text{C min.}$, ή $1\text{mW}/^{\circ}\text{C min}$ σε συνθήκες νηνεμίας. Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας είναι 150°C . Μακροπρόθεσμες μελέτες σταθερότητας έχουν δείξει ότι η εκτεταμένη λειτουργία του θερμίστορ πάνω από τους 90°C θα το επάγουν σε τιμές μικρότερες από 2252 Ohm στους 25°C και τελικά θα ξεπεράσει τις ανοχές. Τα θερμίστορ 44030, 44031, 44032 και 44033 είναι σχεδιασμένα για λειτουργίες κάτω από 75°C . Μπορούν να λειτουργούν με ασφάλεια μέχρι τους 100°C , αλλά η εκτεταμένη χρήση τους πάνω από τους 75°C μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στην αντίστασή τους. Η θερμοκρασία εναποθήκευσης των θερμίστορ είναι από -80 έως 120°C .

1.13.3 Γραμμικά εξαρτήματα θερμίστορ, ηλεκτρόδια και εφαρμογές

Εξαρτήματα γραμμικής απόκρισης:

Για εφαρμογές που απαιτούν θερμίστορ με γραμμικές αποκρίσεις στις μεταβολές της θερμοκρασίας, η OMEGA παρέχει τα γραμμικά εξαρτήματα. Αυτές οι μοναδικές συσκευές αποτελούνται από ένα σύνθετο θερμίστορ ανίχνευσης θερμοκρασίας και από ένα σύνθετο εξωτερικών αντιστάσεων για γραμμική μορφοποίηση.



Σχήμα 1.27 Σύνδεση θερμίστορ OMEGA

Τα σύνθετα θερμίστορ 44018 και 44019 περιέχουν το καθένα από αυτά δύο θερμίστορ πακεταρισμένα σε έναν απλό αισθητήρα. Το σύνθετο θερμίστορ 44020 περιέχει τρία θερμίστορ πακεταρισμένα σε έναν απλό αισθητήρα.

Τα σύνθετα αντιστατών για χρήση με τα σύνθετα θερμίστορ 44018 και 44019 αποτελούνται από δύο μεταλλικούς αντιστάτες μεμβράνης. Τα σύνθετα αντιστατών που χρησιμοποιούνται με το σύνθετο θερμίστορ 44020 αποτελούνται από το ίδιο είδος μεταλλικών αντιστατών μεμβράνης.

Τα γραμμικά εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα με διαφορετικές τιμές για διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών. Όταν αυτά συνδέονται με δίκτυα, παράγουν μία μεταβαλλόμενη τάση ή αντίσταση, η οποία είναι γραμμική με τη θερμοκρασία. Ένα από τα βασικά εξαρτήματα αυτών των δικτύων είναι ο διαιρέτης τάσεως.

Πολυπλεξία:

Το σύνθετο θερμίστορ 44018 χρησιμοποιείται σε τέσσερα από τα γραμμικά εξαρτήματα. Αυτό που αλλάζει σε κάθε εξάρτημα είναι το σύνθετο θερμίστορ, το οποίο καθορίζει το εύρος της θερμοκρασίας. Επομένως, το σύνθετο θερμίστορ 44018 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλο το εύρος θερμοκρασίας από -30 έως 100° C αλλάζοντας απλά τα σύνθετα θερμίστορ. Η ακρίβειά του και η εναλλαξιμότητά του για όλο το εύρος είναι $\pm 0,15^\circ \text{C}$. Τα σύνθετα θερμίστορ της OMEGA δεν είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιούνται με σύνθετα θερμίστορ 44018. Οποιοδήποτε αντιστάτες 0,1% των κατάλληλων τιμών και με συντελεστή θερμοκρασίας 30 PPM ή λιγότερο μπορούν να αντικατασταθούν. Σε άλλες περιπτώσεις, είναι πολύ συχνά επιθυμητό να υπάρχουν αισθητήρες θερμοκρασίας σύνθετων θερμίστορ σε περισσότερες από μία περιοχές. Όταν αυτό απαιτείται, δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει ξεχωριστό σύνθετο αντιστάτη για κάθε σύνθετο θερμίστορ. Είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί πολυπλεξία σε οποιοδήποτε αριθμό των σύνθετων θερμίστορ μέσω ενός απλού σύνθετου θερμίστορ για μεγαλύτερη ευελιξία σχεδίων.

Ο OM-DAQPRO-5300 αποτελεί ένα φορητό σύστημα οκτώ καναλιών απόκτησης και καταγραφής δεδομένων με οθόνη γραφικών και ενσωματωμένες λειτουργίες ανάλυσης. Ο καταγραφέας δεδομένων τροφοδοτείται από μία εσωτερική επαναφορτιζόμενη μπαταρία και είναι ικανός να επεξεργάζεται δείγματα και να δείχνει τις μετρήσεις χωρίς να απαιτείται η σύνδεσή του με κάποιο υπολογιστή. Πρόκειται για ένα επαγγελματικό, οικονομικά αποδοτικό και αυτόνομο σύστημα καταγραφής δεδομένων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα εύρος εφαρμογών. Αυτός ο υψηλής ανάλυσης καταγραφέας έχει οθόνη γραφικών και λειτουργίες ανάλυσης για μετρήσεις τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο. Χάρη στην υψηλή ανάλυση και στο γρήγορο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού (ADC), ο OM-DAQPRO-5300 εκπληρώνει τις περισσότερες απαιτήσεις στις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές. Η μοναδική του ικανότητα να δείχνει τις μετρούμενες τιμές και να τις αναλύει σε πραγματικό χρόνο σε γραφική απεικόνιση ελαχιστοποιεί την ανάγκη φόρτωσης δεδομένων από έναν υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση. Κάθε καταγραφέας

δεδομένων OM-DAQPRO-5300 είναι ενσωματωμένος με έναν μοναδικό σειριακό αριθμό και μπορεί να φορτωθεί με ένα περιγραφικό σχόλιο για ασφαλή αναγνώριση.

Ο καταγραφέας είναι πολύ εύκολος στη χρήση, καθώς όλες οι λειτουργίες του είναι χωρισμένες σε ένα μενού 8 εικονιδίων. Τα τέσσερα κουμπιά στο μπροστινό πληκτρολόγιο του καταγραφέα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανατρέξουμε γρήγορα το μενού και να εκτελέσουμε κάποια από τις εντολές.



Σχήμα 1.28 Φορητός επιπαλάμιος ηλεκτρονικός καταγραφέας δεδομένων
OM-DAQPRO-5300

Είσοδος:

Ο καταγραφέας OM-DAQPRO-5300 έχει οκτώ κανάλια εισόδου για μέτρηση τάσης, ρεύματος, θερμοκρασίας και παλμών. Τα είδη / εύρη των χρησιμοποιούντων επιλέξιμων εισόδων είναι 0 – 24 mA, 0 – 50 mV, 0 – 10 V, 2252 Ω ή 10 KΩ θερμίστορ, PT100 RTDs, θερμοηλεκτρικοί αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου J, K ή T, εσωτερική θερμοκρασία, μετρητής παλμών, μετρητής συχνότητας και πάνω από 20 χρησιμοποιούντες καθορισμένοι αισθητήρες (που χρησιμοποιούνται για κλιμακοποίηση αναλογικής τάσης ή για εισόδους ρεύματος σε μονάδες εφαρμοσμένης μηχανικής).

Ο καταγραφέας OM-DAQPRO-5300 μπορεί να καταγράψει δεδομένα από οκτώ εισόδους PT100 RTD διπλών καλωδίων ή από τέσσερις εισόδους PT100 RTD τριπλών καλωδίων.

Ο καταγραφέας δεδομένων παρέχει ένα απλό και ξεκάθαρο εργαλείο για τον καθορισμό μέχρι και 20 συνήθων αισθητήρων. Σχεδόν κάθε αισθητήρας των 0 – 10 V και των 4 – 20 mA ή μετατροπέας μπορεί να επιδειχθεί σε σημαντικές μονάδες εφαρμοσμένης μηχανικής. Τα όρια του αισθητήρα είναι αποθηκευμένα στην μνήμη του καταγραφέα και έχουν προστεθεί στην λίστα των αισθητήρων.

Εξόδοι:

Ο καταγραφέας OM-DAQPRO-5300 μπορεί αυτόματα να ενεργοποιήσει μια εξωτερική συσκευή συναγερμού, παραδείγματος χάριν, μπορεί να ενεργοποιήσει έναν ακουστικό συναγερμό ή να ανάψει ένα προειδοποιητικό φως, όταν ένα κανάλι εισόδου είναι εκτός ενός συγκεκριμένου εύρους. Η εξωτερική συσκευή συναγερμού (ακουστικός ή οπτικός συναγερμός) είναι συνδεδεμένη με τους ακροδέκτες εισόδου / εξόδου 8. Ο συναγερμός εξόδου αποτελεί μία έξοδο ανοικτού συλλέκτη η οποία είναι αναλογική με ένα ηλεκτρικό διακόπτη. Τα υψηλά / χαμηλά επίπεδα συναγερμού και αν η έξοδος του συναγερμού είναι ενεργοποιημένη ή όχι κατά τη διάρκεια μια κατάστασης εκτός των ορίων μπορεί να ρυθμιστεί για κάθε κανάλι εισόδου ξεχωριστά.



Σχήμα 1.29 1/8 DIN 4- Ζωνών & 7-Ζωνών Θερμοκρασία
CN1504 & CN1507 Σειρές

Η σειρά CN1500 αποτελεί ένα συμπαγές μηχάνημα που προσφέρει τα χαρακτηριστικά επτά ρυθμιστών σε έναν εγκλεισμένο σε 1/8 DIN.

Ο προσεκτικός σχεδιασμός, η υψηλή λειτουργικότητα και πυκνότητα του επιτρέπουν να προσφέρει την καλύτερη αναλογία κόστους / απόδοσης από κάθε άλλο ρυθμιστή της κατηγορίας του. Το είδος εισόδου για κάθε ζώνη έχει επιλεγθεί ξεχωριστά. Η κλιμακοποίηση και ευθυγράμμιση επιτρέπουν στα σήματα ρεύματος και τάσεως να μετασχηματίζονται και να απεικονίζονται σε μονάδες εφαρμοσμένης μηχανικής. Η θερμοκρασία μπορεί να απεικονιστεί σε μονάδες Κελσίου ή Φαρενάιτ.

Η κάθε ζώνη έχει το δικό της διάγραμμα φόρτωσης/εμποτισμού. Παρέχεται πλήκτρο ON / OFF καθώς επίσης και έλεγχος PID για τη βέλτιστη σταθερότητα της διαδικασίας. Διαδικασίες που δεν απαιτούν υψηλό έλεγχο μέσω σύνθετου συντονισμού των παραμέτρων PID μπορούν να τερματιστούν απλά με το πλήκτρο ON / OFF. Κάθε ζώνη έχει το δικό της πλήκτρο ON / OFF και PID παραμέτρους. Επίσης είναι προγραμματισμένη για θέρμανση ή ψύξη.

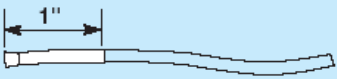
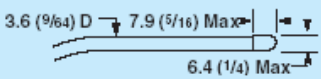
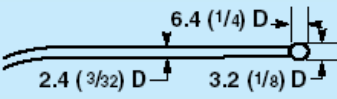
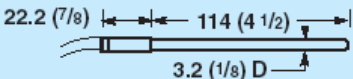
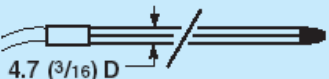
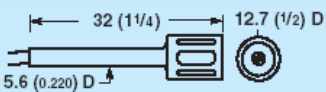
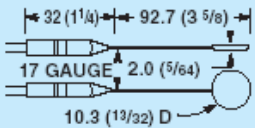
Επιπρόσθετες λειτουργίες περιλαμβάνουν min/max ανάγνωση για κάθε ζώνη, αόριστη αναμονή προγράμματος, αυτόματη ανίχνευση και απεικόνιση των διαφορετικών ζωνών και τρεις τρόπους επίδειξης (τιμές αναφοράς μόνο, επεξεργασίας μόνο, τιμές αναφοράς και επεξεργασίας).

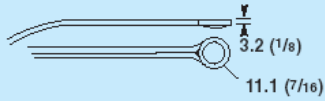
Κάθε ζώνη έχει μια τριψήφια ταμπέλα μηχανικής, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί για να υποδεικνύει το είδος της επεξεργασίας που ελέγχεται. Η χρονική ανίχνευση από κανάλι σε κανάλι είναι και αυτή προγραμματισμένη.



Σχήμα 1.30 Thermistor για τα πρότυπα εργαστηριακών εφαρμογών
ON-40(*)-P ON-400 Σειρά

Σειρά "400": οι έλεγχοι είναι για τη χρήση στο εργαστήριο R&D και οι εφαρμογές έχουν ανταλλάξιμη ακρίβεια αισθητήρων $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Κάθε αισθητήρας παρέχει ένα 10-foot βινυλίου καλώδιο και τηλέφωνο - συνδετήρα βουλωμάτων. Η σειρά αισθητήρων "400" είναι 2252 Ohm @ 25°C .

Διαμόρφωση Διαστάσεις σε mm (")	Πρότυπος Αριθμός	Περιγραφή	Θερμοκρασία κή. Εκτίμηση	Εφαρμογή
	ON-401-PP	Γενικός σκοπός. Χρησιμοποιημένος για τις βραχυπρόθεσμες αναγνώσεις	100°C (212°F)	Εσωτερικά μέσα στην επιφάνεια
	ON-401-PP-V	Έκδοση Ανθεκτική, μαλακή, εύκαμπτη, αιχμή βινυλίου τοποθετημένη στο <u>ύδατος</u> του		
	ON-402-PP	Μικρή εύκαμπτη. Βινυλίου θήκη και άκρη. Θερμοκρασίες δοκιμαστικών σωλήνων. Μέτρηση γενικού σκοπού. Συνεχές μήκος.	100°C (212°F)	Γενικός σκοπός
	ON-403-PP	Σωληνοειδής. Έλεγχος ανοξειδωτου χάλυβα για το τραχύ καθήκον. Συχνά χρησιμοποιημένος για την υγρή βύθιση. Ο έλεγχος είναι καλός μόνο στην ΚΑΠ.	100°C (212°F)	Υγρό
	ON-404-PP	Σωληνοειδής-γυαλί. Χημικά αδρανής στην υγρή χρήση βύθισης για Thermometric τιτλοδότηση. Προσδιορισμός σημείου ψύξης. Pyrex, 127 χιλ. (5") πολύ.	100°C (212°F)	Υγρό
	ON-405-PP	Θερμοκρασία αέρα. Έλεγχος ανοξειδωτου χάλυβα κατάλληλος για τους χώρους δοκιμής, τους επωαστήρες, τις μακρινές	100°C (212°F)	Αέριο
	ON-406-PP	Όπως τα-405-PP αλλά με το οικονομικό πλαστικό		
	ON-408-PP	Θερμοκρασία επιφάνειας "μπάντζο". λουτρό ύδατος, αέρας, θερμοκρασίες επιφανειών. Ανοξειδωτος	100°C (212°F)	Επιφάνεια



ON-409-PP

χάλυβας.

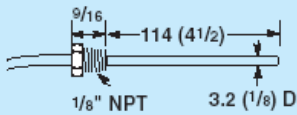
Συνδέσιμη θερμοκρασία επιφάνειας. Ποτήρι

ανοξειδωτου χάλυβα, εποξικού-που υποστηρίζεται.

Εύκολο να δέσει με ταινία στις επίπεδες επιφάνειες.

Αγαθό για την απώλεια θερμότητας ή τη μελέτη αποδοτικότητας συμπίεσης της διοχέτευσης με σωλήνες.

100°C (212°F) Επιφάνεια



ON-410-PP

Σωληνοειδής με τη συναρμολόγηση. Ο έλεγχος

είναι τραχύς, ανοξειδωτος χάλυβας με την τοποθέτηση σωληνώσεων κατάλληλη για τις αναγνώσεις στους σωλήνες ή το εσωτερικό στα σκάφη.

100°C (212°F) Αέριο, υγρό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΥΣ (THERMOCOUPLE)

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ THERMOCOUPLE

Ένα thermocouple είναι μια σύνδεση που διαμορφώνεται από δύο ανόμοια μέταλλα. Πραγματικά, είναι ένα ζευγάρι συνδέσεων. Η μια σύνδεση είναι στη θερμοκρασία αναφοράς (όπως 0 °C) και η άλλη σύνδεση είναι στη θερμοκρασία που μετρείται. Μια διαφορά θερμοκρασίας θα προκαλέσει να αναπτυχθεί μια τάση όπου η θερμοκρασία είναι εξαρτώμενη. (Εκείνη η τάση προκαλείται από κάτι αποκαλούμενο επίδραση Seebeck.) Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας επειδή είναι ανέξοδα, τραχιά και αξιόπιστα, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πέρα από μια ευρεία σειρά θερμοκρασίας. Ειδικότερα, άλλοι αισθητήρες θερμοκρασίας (όπως τα thermistors και LM35 αισθητήρες) είναι χρήσιμα γύρω από τη θερμοκρασία δωματίου.

2.1.1 Αρχή της λειτουργίας

Το 1821, ο Γερμανός – Εσθονός φυσικός Thomas Johann Seebeck ανακάλυψε ότι όταν υποβάλλεται οποιοσδήποτε αγωγός (όπως ένα μέταλλο) σε μια θερμική κλίση, θα παραγάγει μια τάση. Αυτό είναι τώρα γνωστό ως θερμοηλεκτρική επίδραση ή επίδραση Seebeck. Οποιαδήποτε προσπάθεια να μετρηθεί αυτή η τάση περιλαμβάνει απαραίτητα τη σύνδεση ενός άλλου αγωγού με το "θερμό" τελείωμα. Αυτός ο πρόσθετος αγωγός έπειτα θα δεχθεί την κλίση θερμοκρασίας, και θα αναπτύξει μια δική του τάση που θα αντισταθεί την αρχική. Ευτυχώς, το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από το μέταλλο που χρησιμοποιούμε. Η χρησιμοποίηση ενός ανόμοιου μετάλλου για να ολοκληρώσει το κύκλωμα δημιουργεί ένα κύκλωμα στο οποίο τα δύο άκρα παράγουν τις διαφορετικές τάσεις, αφήνοντας μια μικρή τάση διαφοράς διαθέσιμη για τη μέτρηση. Εκείνη η διαφορά αυξάνεται με τη θερμοκρασία, και μπορεί χαρακτηριστικά να είναι μεταξύ ενός και εβδομήντα microvolts ανά βαθμό Κελσίου ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) για τη σύγχρονη σειρά των διαθέσιμων συνδυασμών μετάλλων. Ορισμένοι συνδυασμοί έχουν γίνει δημοφιλείς ως πρότυπα βιομηχανίας, και χαρακτηρίζονται από το κόστος, τη διαθεσιμότητα, την ευκολία, το σημείο τήξης, τις χημικές ιδιότητες, τη σταθερότητα, και την παραγωγή. Αυτή η σύζευξη δύο μετάλλων δίνει στο θερμοηλεκτρικό ζεύγος το όνομά της. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη μετρούν τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο σημείων, μη απόλυτη θερμοκρασία. Στις παραδοσιακές εφαρμογές, μια από τις συνδέσεις —η ψυχρή σύνδεση— διατηρείται σε μια γνωστή

θερμοκρασία (αναφοράς), ενώ το άλλο άκρο συνδέεται με έναν ελεγκτήρα. Έχοντας διαθέσιμη μια γνωστή ψυχρή σύνδεση θερμοκρασίας, χρήσιμη για τις εργαστηριακές βαθμολογήσεις, δεν είναι απλά κατάλληλη για τα αμεσότερα συνδεδεμένα όργανα ένδειξης και ελέγχου. Ενσωματώνουν στα κυκλώματά τους μια τεχνητή ψυχρή σύνδεση χρησιμοποιώντας κάποια άλλη θερμικά ευαίσθητη συσκευή, όπως ένα thermistor ή μια δίοδο, για να μετρήσουν τη θερμοκρασία των συνδέσεων εισαγωγής στο όργανο, με την ειδική προσοχή που λαμβάνεται για να ελαχιστοποιηθεί οποιαδήποτε κλίση θερμοκρασίας μεταξύ των τερματικών. Ως εκ τούτου, η τάση από μια γνωστή ψυχρή σύνδεση μπορεί να μιμηθεί, και να εφαρμοστεί η κατάλληλη διόρθωση. Αυτό είναι γνωστό ως ψυχρή σύνδεση. Επιπλέον, μια συσκευή μπορεί να εκτελέσει την ψυχρή σύνδεση από τον υπολογισμό. Μπορεί να μεταφράσει τις τάσεις συσκευών στις θερμοκρασίες με καθεμία από τις δύο μεθόδους. Μπορεί να χρησιμοποιήσει τις τιμές από πίνακες ή κατά προσέγγιση χρησιμοποίηση πολυωνμικής παρεμβολής.

Ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος μπορεί να παραγάγει το ρεύμα, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει μερικές διαδικασίες άμεσα, χωρίς την ανάγκη για τις πρόσθετες πηγές στοιχείων κυκλώματος και ενέργειας. Για Παράδειγμα, η δύναμη από ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος μπορεί να ενεργοποιήσει μια βαλβίδα όταν προκύπτει μια διαφορά θερμοκρασίας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος είναι μια μετατροπή της θερμότητας ενέργειας που πρέπει να παρέχει συνέχεια στην θερμή πλευρά του θερμοηλεκτρικού ζεύγους για να διατηρήσει την ηλεκτρική δυνατότητα. Η ροή της θερμότητας είναι απαραίτητη επειδή η ροή ρεύματος του θερμοηλεκτρικού ζεύγους τείνει να αναγκάσει την κάτω θερμή πλευρά να ψυχθεί και την ψυχρή επάνω πλευρά να θερμανθεί (επίδραση Peltier). Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη μπορούν να συνδεθούν στη σειρά το ένα με το άλλο για να διαμορφώσουν το thermopile, όπου όλες οι θερμές συνδέσεις εκτίθενται στην υψηλότερη θερμοκρασία και όλες οι ψυχρές συνδέσεις σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, οι τάσεις του μεμονωμένου θερμοηλεκτρικού ζεύγους προσθέτονται, το οποίο επιτρέπει μια μεγαλύτερη τάση και μια αυξανόμενη ισχύ. Με ραδιενεργή αποσύνθεση με υπερουράνια στοιχεία που παρέχουν μια πηγή θερμότητας, αυτή η ρύθμιση έχει χρησιμοποιηθεί στο διαστημικό σκάφος δύναμης στις αποστολές πάρα πολύ μακριά από τον ήλιο για να χρησιμοποιήσει την ηλιακή δύναμη.

2.1.2 Σύνδεση

Συνήθως το θερμοηλεκτρικό ζεύγος συνδέεται με τη συσκευή από ένα ειδικό καλώδιο γνωστό ως καλώδιο αντιστάθμισης ή επέκτασης. Αυτά τα καλώδια είναι λιγότερο δαπανηρά από το καλώδιο θερμοηλεκτρικών ζευγών, αν και μη φτηνά, και παράγονται συνήθως σε μια

κατάλληλη μορφή για να μεταφέρουν τις μεγάλες αποστάσεις —χαρακτηριστικά όπως την εύκαμπτη μονωμένη καλωδίωση ή πολύχρωμα καλώδια. Διευκρινίζονται συνήθως για την ακρίβεια πέρα από μια περιορισμένη σειρά θερμοκρασίας από τα καλώδια των θερμοηλεκτρικών ζευγών. Συστήνονται για την καλύτερη ακρίβεια. Αντισταθμίζοντας τα καλώδια αφ' ετέρου, είναι λιγότερο ακριβής, αλλά φτηνότερα. Χρησιμοποιούν αρκετά τα υλικά αγωγών κραμάτων διαφορετικού, σχετικά χαμηλότερου κόστους οι των οποίων καθαροί θερμοηλεκτρικοί συντελεστές είναι παρόμοιοι με εκείνους του θερμοηλεκτρικού ζεύγους εν λόγω πέρα από μια περιορισμένη σειρά θερμοκρασιών, αλλά δεν ταιριάζουν τόσο πιστά όσο τα καλώδια επέκτασης. Ο συνδυασμός αναπτύσσει τα παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα του θερμοηλεκτρικού ζεύγους, αλλά η λειτουργούσα σειρά θερμοκρασίας του καλωδίου αντιστάθμισης είναι περιορισμένη για να κρατήσει τα σφάλματα κακού συνδυασμού κατά αποδεκτό τρόπο μικρά. Το καλώδιο επέκτασης ή το καλώδιο αντιστάθμισης πρέπει να επιλεγεί για να ταιριάζει με το θερμοηλεκτρικό ζεύγος. Παράγει μια τάση ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ της θερμής σύνδεσης και της ψυχρής σύνδεσης, και συνδέεται στη σωστή πολικότητα έτσι ώστε η πρόσθετη τάση να προστίθεται στην τάση θερμοηλεκτρικών ζευγών, που αντισταθμίζει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των θερμών και ψυχρών συνδέσεων.

2.1.3 Σχέση Τάσης – Θερμοκρασίας

Η σχέση μεταξύ της διαφοράς θερμοκρασίας και της τάσης παραγωγής ενός θερμοηλεκτρικού ζεύγους είναι μη γραμμική και προσεγγίζεται από το πολυώνυμο:

Οι συντελεστές a_n δίνονται για n από μηδέν μεταξύ πέντε και εννέα.

Για να επιτύχει τις ακριβείς μετρήσεις η εξίσωση εφαρμόζεται συνήθως σε έναν ψηφιακό ελεγκτή ή αποθηκεύεται σε έναν πίνακα. Μερικές παλαιότερες συσκευές χρησιμοποιούν τα αναλογικά φίλτρα.

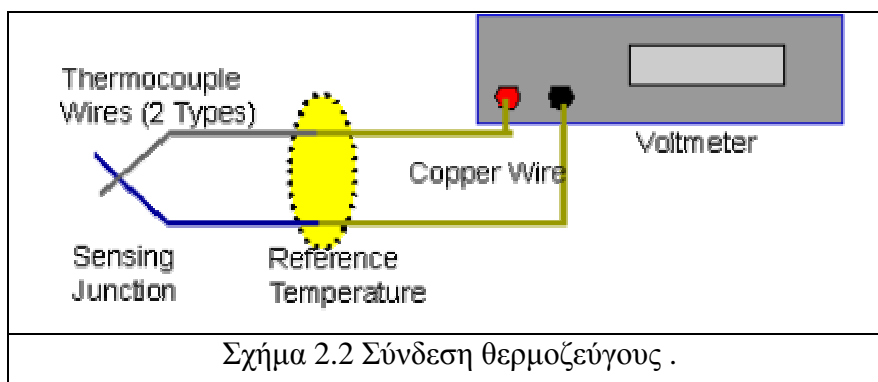
2.1.4 Το θερμοζεύγος κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας

- Γιατί χρησιμοποιούμε θερμοηλεκτρικά ζεύγη για να μετρήσουμε την θερμοκρασία;
 - Είναι ανέξοδα.
 - Είναι τραχιά και αξιόπιστα.
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πέρα από μια ευρεία σειρά θερμοκρασίας.
- Με τι μοιάζει θερμοηλεκτρικό ζεύγος;
 - Με δύο καλώδια (δύο διαφορετικών μετάλλων) που ενώνονται στη σύνδεση.



Σχήμα 2.1 Μορφολογία θερμοζεύγους

- Τι κάνει ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος;
 - Η σύνδεση δύο ανόμοιων μετάλλων παράγει μια εξαρτώμενη τάση θερμοκρασίας.
- Πώς χρησιμοποιείτε ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος;
 - Μετράμε την τάση που το θερμοηλεκτρικό ζεύγος παράγει, και μετατρέπουμε εκείνη την τάση σε μια ανάγνωση θερμοκρασίας.
 - Μπορεί να είναι καλύτερα να γίνει η μετατροπή ψηφιακά επειδή η μετατροπή μπορεί να είναι αρκετά μη γραμμική.
- Τι πράγματα πρέπει να ξέρουμε για τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη
 - Μια σύνδεση μεταξύ δύο ανόμοιων μετάλλων παράγει μια τάση.
 - Στο θερμοηλεκτρικό ζεύγος, η αισθητήρια σύνδεση - παράγει μια τάση που εξαρτάται από τη θερμοκρασία.
 - Όπου το θερμοηλεκτρικό ζεύγος συνδέει με εξοπλισμό- καλώδια χαλκού - έχουμε δύο ή περισσότερες συνδέσεις και παράγουν επίσης μια εξαρτώμενη τάση θερμοκρασίας. Εκείνες οι συνδέσεις παρουσιάζουν κίτρινο oval.
 -



- Όταν χρησιμοποιούμε ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος, πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι οι συνδέσεις είναι σε κάποια τυποποιημένη θερμοκρασία, ή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα ηλεκτρονικά αντισταθμισμένο σύστημα που λαμβάνει εκείνες τις τάσεις υπόψη του. Εάν το θερμοηλεκτρικό ζεύγος μας συνδέεται με ένα σύστημα αποκτήσεων στοιχείων, κατόπιν οι πιθανότητες είναι καλές, έτσι έχουμε ένα ηλεκτρονικά αντισταθμισμένο σύστημα.
- Μόλις πάρουμε μια ανάγνωση από ένα βολτόμετρο, η μετρημένη τάση πρέπει να μετατραπεί σε θερμοκρασία. Η θερμοκρασία εκφράζεται συνήθως ως η πολυωνυμική λειτουργία της μετρημένης τάσης. Μερικές φορές είναι δυνατό να γίνει μια ακόμη γραμμική προσέγγιση πέρα από μια περιορισμένη σειρά θερμοκρασίας.
- Υπάρχουν δύο τρόποι να μετατραπεί η μετρημένη τάση σε μια ανάγνωση θερμοκρασία.
 - ο Μετράμε την τάση και αφήνουμε το χειριστή να κάνει τους υπολογισμούς.
 - ο Χρησιμοποιούμε τη μετρημένη τάση ως εισαγωγή σε ένα κύκλωμα μετατροπής - είτε αναλογικά είτε ψηφιακά.

2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ THERMOCOUPLE

Τεχνικά στοιχεία αναφοράς θερμοηλεκτρικών ζευγών.

Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη είναι αισθητήρες θερμοκρασίας κατάλληλοι για χρήση με οτιδήποτε έχει να κάνει με το όργανο που σχεδιάζεται ή που προγραμματίζεται για χρήση με τον ίδιο τύπο του θερμοηλεκτρικού ζεύγους. Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη βασίζονται στην αρχή ότι όταν ενώνονται δύο ανόμοια μέταλλα, μια προβλέψιμη τάση θα παραχθεί που αφορά τη διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ της μετρημένης σύνδεσης και της σύνδεσης αναφοράς (σύνδεση στη συσκευή που μετράμε). Η επιλογή του βέλτιστου τύπου θερμοηλεκτρικών ζευγών (μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους) βασίζεται στη θερμοκρασία εφαρμογής, την ατμόσφαιρα, στο απαραίτητο μήκος, την ακρίβεια και το κόστος. Όταν απαιτείται ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος αντικατάστασης, είναι ύψιστης σημασίας ότι ο τύπος θερμοηλεκτρικών ζευγών που χρησιμοποιείται να αντιστοιχεί με αυτήν του οργάνου μέτρησης που αντικαθιστούμε. Οι διαφορετικοί τύποι θερμοηλεκτρικών ζευγών έχουν πολύ διαφορετικές καμπύλες παραγωγής τάσης. Επίσης απαιτείται ότι το καλώδιο θερμοηλεκτρικών ζευγών ή επέκτασης θερμοηλεκτρικών ζευγών, από τον κατάλληλο τύπο, να χρησιμοποιεί όλο τον τρόπο από το αισθητήριο στοιχείο στο μετρούμενο στοιχείο. Τα μεγάλα σφάλματα μπορούν να αναπτυχθούν εάν αυτή η πρακτική δεν ακολουθείται.

2.2.1 Μέγεθος καλωδίων του θερμοηλεκτρικού ζεύγους:

Η επιλογή του μεγέθους καλωδίων που χρησιμοποιείται στον αισθητήρα θερμοηλεκτρικών ζευγών εξαρτάται από την εφαρμογή. Γενικά, όταν απαιτείται η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για τις υψηλότερες θερμοκρασίες, πρέπει να επιλεγθούν τα καλώδια μεγαλύτερου μεγέθους. Όταν η ευαισθησία είναι η πρωταρχική αιτία, πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα μικρότερα μεγέθη.

2.2.2 Μήκος του ελέγχου θερμοηλεκτρικών ζευγών

Δεδομένου ότι η επίδραση της διεξαγωγής της θερμότητας από το καυτό άκρο του θερμοηλεκτρικού ζεύγους πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, ο έλεγχος των θερμοηλεκτρικών ζευγών πρέπει να έχει ικανοποιητικό μήκος. Εκτός αν υπάρχει ικανοποιητική βύθιση, οι αναγνώσεις θα είναι χαμηλές. Προτείνεται το θερμοηλεκτρικό ζεύγος να βυθίζεται για μια ελάχιστη απόσταση ισοδύναμη με τέσσερις χρόνους, την εξωτερική διάμετρο ενός σωλήνα προστασίας.

2.2.3 Θέση του θερμοηλεκτρικού ζεύγους

Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη πρέπει πάντα να είναι σε θέση να έχουν μια καθορισμένη σχέση θερμοκρασίας στο φορτίο εργασίας. Συνήθως, το θερμοηλεκτρικό ζεύγος πρέπει να βρεθεί μεταξύ του φορτίου εργασίας και της πηγής θερμότητας και να βρεθεί περίπου ότι η απόσταση είναι το 1/3 από το φορτίο εργασίας στην πηγή θερμότητας.

2.3. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ THERMOCOUPLE

Ας δούμε μερικούς τύπους θερμοηλεκτρικών ζευγών βάσεων-μετάλλων. Ο Τύπος T θερμοηλεκτρικών ζευγών χρησιμοποιείται ευρέως όπως ο τύπος K και ο Τύπος N.

- Ο τύπος K (Ni-Cr/Ni-Al) thermocouples χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία. Έχει υψηλή θερμική δύναμη και καλή αντίσταση στην οξείδωση. Η θερμοκρασία λειτουργίας του Τύπου K thermocouple είναι από -269 °C έως +1260 °C. Εντούτοις, αυτό το θερμοηλεκτρικό ζεύγος αποδίδει μάλλον κακώς στη μείωση των ατμοσφαιρών.
- Ο τύπος T (Cu/Cu-Ni) thermocouples μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην οξείδωση των αδρανών ατμοσφαιρών πέρα από τη σειρά θερμοκρασίας -250 °C έως +850 °C. Στη μείωση ή απαλά οξειδωτικά περιβάλλοντα, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί το θερμοηλεκτρικό ζεύγος μέχρι σχεδόν +1000 °C.
- Ο τύπος N (Nicrosil /Nisil) thermocouples σχεδιάζεται για να χρησιμοποιηθεί στα βιομηχανικά περιβάλλοντα των θερμοκρασιών μέχρι +1200 °C.

Μια πολυωνυμική εξίσωση χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την τάση των θερμοηλεκτρικών ζευγών στη θερμοκρασία (°C) πέρα από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Μπορούμε να γράψουμε το πολώνυμο όπως:

$$T = \sum_{n=0}^N a_n v^n$$

Οι συντελεστές, a_n είναι ταξινομημένοι σε πολλές θέσεις. Εδώ είναι οι NBS πολυωνυμικοί συντελεστές για έναν τύπο K thermocouple. (Πηγή: T. J. Quinn, Θερμοκρασία, Ακαδημαϊκός Τύπος A.E.,1990)

Πίνακας Συντελεστών μετατροπής για θερμοζεύγος τύπου – K

n	a_n
0	0.226584602
1	24152.10900
2	67233.4248
3	2210340.682
4	-860963914.9
5	4.83506×10^{10}
6	-1.18452×10^{12}
7	1.38690×10^{13}
8	-6.33708×10^{13}

Τι γίνεται εάν η περιβάλλουσα θερμοκρασία υπερβαίνει τα όρια?

Δεν υπάρχει πραγματικά κανένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος που να μπορεί να αντισταθεί στις οξειδωτικές ατμόσφαιρες για τις θερμοκρασίες επάνω από το ανώτερο όριο των θερμοηλεκτρικών ζευγών τύπων λευκόχρυσου-ρόδιου. Δεν μπορούμε, επομένως, να μετρήσουμε τη θερμοκρασία σε τέτοιους όρους υψηλής θερμοκρασίας.

Άλλες επιλογές για τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες είναι η ακτινοβολία ή το πυρόμετρο θορύβου. Για την μη-οξείδωση των ατμοσφαιρών, τα βασισμένα θερμοηλεκτρικά ζεύγη βολφραμίου-ρένιου παρουσιάζουν καλή απόδοση μέχρι +2750 °C. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για μια μικρή χρονική περίοδο, στις θερμοκρασίες μέχρι +3000 °C. Η επιλογή των τύπων θερμοηλεκτρικών ζευγών που χρησιμοποιούνται για την αντίληψη

χαμηλής θερμοκρασίας είναι πρώτιστα βασισμένη στα υλικά ενός θερμοηλεκτρικού ζεύγους. Επιπλέον, θερμική δύναμη σε χαμηλή θερμοκρασία είναι μάλλον χαμηλή, έτσι η μέτρηση emf θα είναι αναλογικά επίσης μικρή.

Περισσότερα γεγονότα στους διάφορους τύπους θερμοηλεκτρικών ζευγών.

- Ποικίλα θερμοηλεκτρικά ζεύγη καλύπτουν σήμερα μια σειρά θερμοκρασίας από -250°C έως $+3000^{\circ}\text{C}$. Στους διαφορετικούς τύπους θερμοηλεκτρικών ζευγών δίνονται οι προσδιορισμοί: B, E, J, K, R, S, T και N
- Οι Τύποι R,S και B είναι ευγενή θερμοηλεκτρικά ζεύγη μετάλλων που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την υψηλή θερμοκρασία. Μέσα στη σειρά θερμοκρασίας τους, μπορούν να λειτουργήσουν για μια μακρύτερη χρονική περίοδο στο πλαίσιο ενός οξειδωτικού περιβάλλοντος.
 - Ο Τύπος S και ο τύπος R θερμοηλεκτρικών ζευγών αποτελείται από λευκόχρυσο (Pt) και ρόδιο (Rh), μιξάρωνται σε διαφορετικές αναλογίες. Ένα συγκεκριμένο Pt/Rh, η αναλογία του χρησιμοποιείται επειδή οδηγεί στις σταθερότερες και αναπαραγωγίμες μετρήσεις. Τύποι S και R έχουν ένα ανώτερο όριο θερμοκρασίας $+1200^{\circ}\text{C}$ στην οξείδωση των ατμοσφαιρών, που υποθέτουν μια διάμετρο καλωδίων 0.5mm.
 - Ο τύπος B θερμοηλεκτρικού ζεύγους έχει μια διαφορετική Pt/Rh αναλογία από τους τύπους S και R. Έχει ένα ανώτερο όριο θερμοκρασίας $+1750^{\circ}\text{C}$ στην οξείδωση της ατμόσφαιρας. Λόγω ενός αυξανόμενου ποσού περιεκτικότητας σε ρόδιο, ο τύπος B θερμοηλεκτρικών ζευγών δεν είναι αρκετά τόσο σταθερός όσο ο τύπος R ή ο τύπος S.
 - Οι τύποι E, J, K, T, και N είναι θερμοηλεκτρικά ζεύγη βάσεων-μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την αντίληψη των χαμηλότερων θερμοκρασιών. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντίληψη των υψηλών θερμοκρασιών λόγω του σχετικά χαμηλού σημείου τήξης και της πιο αργής απόκρισής τους λόγω της οξείδωσης.
 - Ο τύπος E (Ni-Cr/Cu-Ni) θερμοηλεκτρικών ζευγών έχει μια λειτουργούσα σειρά θερμοκρασίας από -250°C έως $+800^{\circ}\text{C}$. Η χρήση του είναι λιγότερο διαδεδομένη από άλλα θερμοηλεκτρικά ζεύγη βάσεων-μετάλλων λόγω της χαμηλής λειτουργούσας θερμοκρασίας του. Εντούτοις, μετρήσεις που γίνονται από τον Τύπο E έχουν ένα μικρότερο περιθώριο του σφάλματος. 1000 ώρες λειτουργίας στον αέρα ενός τύπου E θερμοηλεκτρικού ζεύγους στους $+760$

°C, έχει ένα 3mm καλώδιο, should δεν θα οδηγήσει σε μία αλλαγή στο EMF αντίτιμο με περισσότερο από +1 °C.

- ο Ο τύπος J (Fe/Cu-Ni) θερμοηλεκτρικού ζεύγους χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία λόγω της υψηλής θερμικής δύναμης και του χαμηλότερου κόστους του. Αυτός ο τύπος θερμοηλεκτρικού ζεύγους έχει μια λειτουργούσα σειρά θερμοκρασίας από 0 °C έως +760 °C.

Πίνακας Υλικών θερμοζευγών και θερμοκρασιακού εύρους

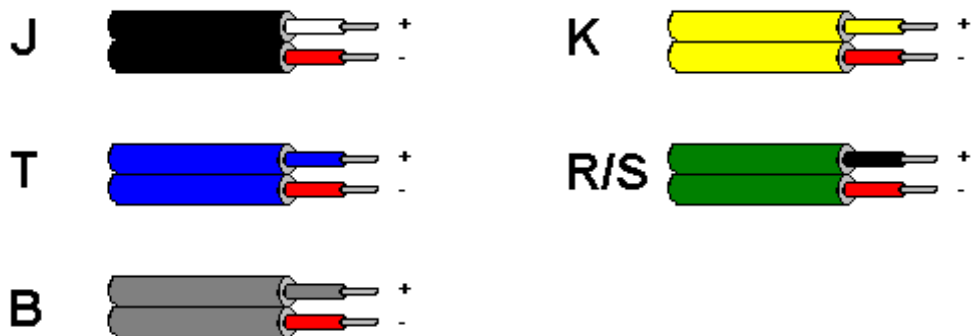
Thermocouple Τύποι	Ονόματα των υλικών	Χρήσιμη σειρά εφαρμογής
B	Platinum30 % Ρόδιο (+)	2500 -3100F
	Λευκόχρυσος 6% Ρόδιο (-)	1370-1700C
C	W5Re Βολφράμιο 5% Rhenium (+)	3000-4200F
	W26Re Βολφράμιο 26% Rhenium (-)	1650-2315C
E	Chromel (+)	200-1650F
	Constantan (-)	95-900C
J	Σίδηρος (+)	200-1400F
	Constantan (-)	95-760C
K	Chromel (+)	200-2300F
	Alumel (-)	95-1260C
N	Nicrosil (+)	1200-2300F
	Nisil (-)	650-1260C
R	Λευκόχρυσος 13% Ρόδιο (+)	1600-2640F
	Λευκόχρυσος (-)	870-1450C
S	Λευκόχρυσος 10% Ρόδιο (+)	1800-2640F
	Λευκόχρυσος (-)	980-1450C
T	Χαλκός (+)	-330-660F
	Constantan (-)	-200-350C

Κώδικες χρώματος θερμοηλεκτρικών ζευγών:

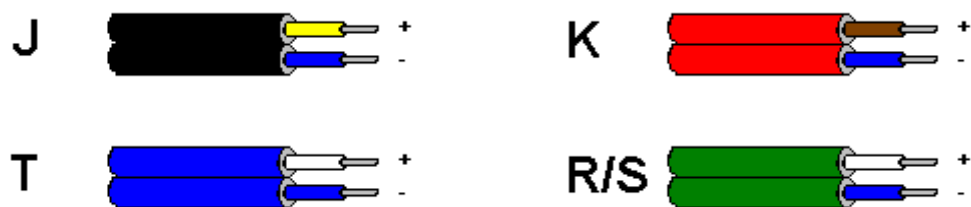
Η καλωδίωση είναι ανάλογη με το χρώμα που κωδικοποιείται στους τύπους θερμοηλεκτρικών ζευγών. Οι διαφορετικές χώρες χρησιμοποιούν τη διαφορετική κωδικοποίηση χρώματος. Ο χρωματισμός του περιβλήματος είναι μερικές φορές μια χρωματισμένη λωρίδα αντί ενός στερεού χρώματος όπως παρουσιάζεται.

(1),(2),(3)

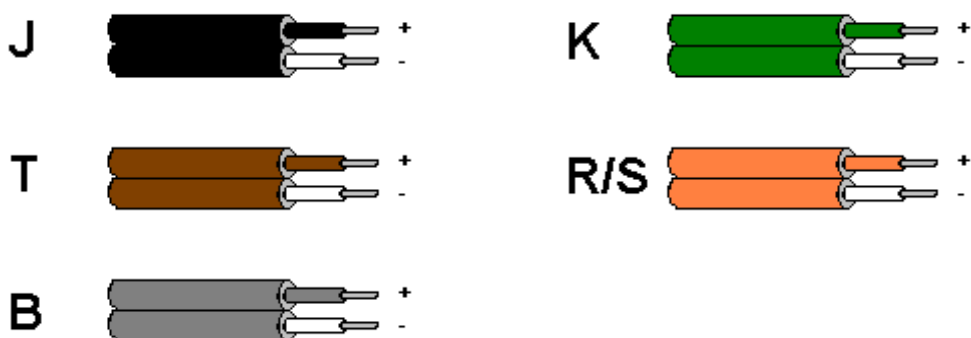
Ηνωμένες Πολιτείες ASTM:



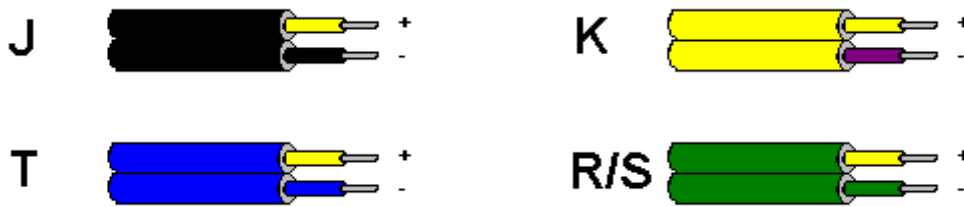
Βρετανικά BS1843: 1952:



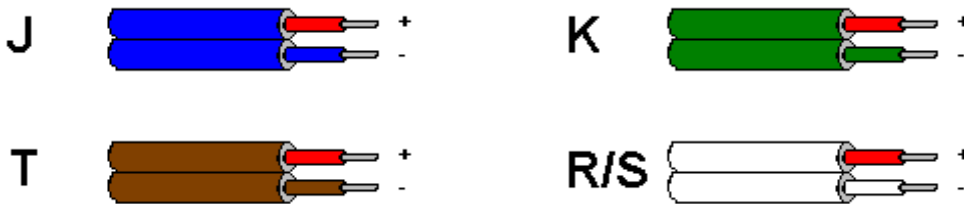
Βρετανικά BS4937: Μέρος 30: 1993:



Γαλλικά NFE:



Γερμανικά DIN:



Τύποι B, S, R και K θερμοηλεκτρικών ζευγών χρησιμοποιούνται εκτενώς στις βιομηχανίες χάλυβα και σιδήρου (χαλυβουργία) για να ελέγξουν τις θερμοκρασίες και τη χημεία σε όλη τη χαλυβουργική διαδικασία. Μίας χρήσης, ο τύπος S thermocouples χρησιμοποιείται τακτικά στη διαδικασία φούρνων ηλεκτρικών τόξων για να μετρήσει ακριβώς τη θερμοκρασία του χάλυβα πριν την τρυπά. Η ψυχόμενη καμπύλη ενός μικρού δείγματος χάλυβα μπορεί να αναλυθεί και να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει την περιεκτικότητα σε άνθρακα του λειωμένου χάλυβα.

2.4. ΑΣΦΑΛΕΙΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ THERMOCOUPLE Ασφάλεια συσκευών θέρμανσης.

Πολλές συσκευές θέρμανσης που λειτουργούν με αέριο όπως φούρνοι και θερμοσίφωνες χρησιμοποιούν το πειραματικό φως για την ανάφλεξη στον κύριο καυστήρα αερίου όπως απαιτείται. Εάν το πειραματικό φως σβήσει για οποιοδήποτε λόγο, υπάρχει η δυνατότητα να μην καεί το αέριο αυτό και να μην απελευθερωθεί στην περιβάλλουσα περιοχή, με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται κίνδυνος πυρκαγιάς και κίνδυνος υγείας. Για να αποτρέψουν έναν τέτοιο κίνδυνο, μερικές συσκευές χρησιμοποιούν ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος ως ασφαλή έλεγχο στην αίσθηση όταν καίει το πειραματικό φως. Η άκρη του θερμοηλεκτρικού ζεύγους τοποθετείται στην πειραματική φλόγα. Η επακόλουθη τάση, χαρακτηριστικά γύρω στα 20 mV, ενεργοποιεί τη βαλβίδα ανεφοδιασμού αερίου αρμόδια για την τροφοδοσία του καυστήρα. Εφ' όσον η πειραματική φλόγα παραμένει αναμμένη, το θερμοηλεκτρικό ζεύγος παραμένει καυτό και κρατά την πειραματική βαλβίδα αερίου ανοικτή. Εάν το πειραματικό φως σβήσει, η θερμοκρασία θα μειωθεί μαζί με μια αντίστοιχη πτώση τάσης στους

μολύβδους θερμοηλεκτρικών ζευγών, αφαιρώντας την ισχύ από τη βαλβίδα. Οι περίβολοι βαλβίδων, αποκλείουν το αέριο και σταματούν αυτόν τον επισφαλή όρο.

Μερικά συστήματα, γνωστά ως millivolt συστήματα ελέγχου, επεκτείνουν αυτήν την έννοια στην κύρια βαλβίδα αερίου επίσης. Όχι μόνο η τάση που δημιουργείται από το πειραματικό θερμοηλεκτρικό ζεύγος ενεργοποιεί την πειραματική βαλβίδα αερίου, αλλά καθοδηγείται επίσης μέσω του θερμοστάτη για να τροφοδοτήσει την κύρια βαλβίδα αερίου. Εδώ, μια μεγαλύτερη τάση απαιτείται σε ένα πειραματικό σύστημα ασφάλειας φλογών που περιγράφεται ανωτέρω, και χρησιμοποιείται thermopile παρά ένα ενιαίο θερμοηλεκτρικό ζεύγος. Ένα τέτοιο σύστημα δεν απαιτεί καμία εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του και μπορεί έτσι να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος, υπό τον όρο ότι όλα τα σχετικά τμήματα συστημάτων το επιτρέπουν αυτό. Σημειώνουμε ότι αυτό αποκλείει τους κοινούς αναγκασμένους φούρνους αέρα επειδή η εξωτερική δύναμη απαιτείται για να ενεργοποιήσει τη μηχανή ανεμιστήρων, αλλά αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μη δυνατή μεταγωγή θερμότητας.

Ένας παρόμοιος μηχανισμός ασφάλειας αερίου που χρησιμοποιεί ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος υιοθετείται μερικές φορές για να εξασφαλίσει ότι ο κύριος καυστήρας αναφλέγει εντός ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος, αποκλείοντας την κύρια βαλβίδα ανεφοδιασμού αερίου καυστήρων εάν αυτό δε συμβεί.

Από την ανησυχία για την ενέργεια που σπαταλιέται με την πειραματική διαδικασία, οι σχεδιαστές πολλών νεότερων συσκευών έχουν μεταπηδήσει σε μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη χωρίς χειριστή ανάφλεξη, αποκαλούμενη επίσης διαλείπουσα ανάφλεξη. Χωρίς τη μόνιμη πειραματική φλόγα, θα έπρεπε η φλόγα να βγει, δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος συγκέντρωσης αερίου, έτσι αυτές οι συσκευές δεν χρειάζονται το θερμοηλεκτρικό ζεύγος - βασισμένη ασφάλεια, πειραματική διακόπτες ασφάλειας. Δεδομένου ότι αυτά τα σχέδια χάνουν το όφελος της λειτουργίας χωρίς μια συνεχή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι μόνιμοι καυστήρες χρησιμοποιούνται ακόμα σε μερικές συσκευές. (4)

2.4.1 Αρχές συνδέσεων αναφοράς

Όταν απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις θερμοηλεκτρικών ζευγών, είναι κοινή πρακτική να παραπεμφθούν και τα δύο άκρα στο καλώδιο μολύβδου - χαλκού στο σημείο πάγου έτσι ώστε το καλώδιο μολύβδου - χαλκού να μπορεί να συνδεθεί με το emf όργανο ανάγνωσης. Αυτή η διαδικασία αποφεύγει την παραγωγή των θερμικών emfs στα τερματικά του οργάνου ανάγνωσης. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία συνδέσεων αναφοράς επηρεάζουν το σήμα παραγωγής και στα πρακτικά όργανα πρέπει να παρασχεθούν μέσα έτσι ώστε να ακυρωθεί

αυτή η πιθανή πηγή λάθους. Το Emf που παράγεται εξαρτάται από μια διαφορά στη θερμοκρασία, έτσι προκειμένου να γίνει μια μέτρηση η αναφορά πρέπει να γνωρίζεται. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα 1 και μπορεί να ολοκληρωθεί με την τοποθέτηση της σύνδεσης αναφοράς σε ένα λουτρό ύδατος πάγου σε μια σταθερή θερμοκρασία 0°C (32°F). Επειδή τα λουτρά πάγου είναι συχνά ενοχλητικά στο να το διατηρήσουν αυτό και όχι πάντα πρακτικά, διάφορες εναλλασσόμενες μέθοδοι υιοθετούνται συχνά.

2.4.2 Ηλεκτρική μέθοδος γεφυρών.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί συνήθως ένα μόνο αντισταθμισμένο ηλεκτρικό δίκτυο γεφυρών όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Αυτό το σύστημα ενσωματώνει ένα ευαίσθητο στοιχείο αντίστασης θερμοκρασίας (RT), το οποίο είναι σε ένα άκρο του δικτύου γεφυρών και θερμικά ενσωματωμένο με την ψυχρή σύνδεση (T2). Η γέφυρα ενεργοποιείται συνήθως από μια μπαταρία υδραργύρου ή μια σταθερή πηγή ενέργειας συνεχούς ρεύματος. Η τάση παραγωγής είναι ανάλογη προς την ανισοροπία που δημιουργείται μεταξύ της προετοιμασμένης ισοδύναμης θερμοκρασίας αναφοράς (T2) και της καυτής σύνδεσης (T1). Σε αυτό το σύστημα, η θερμοκρασία αναφοράς που μπορεί να επιλεγεί είναι 0°C ή 32°F. Σαν περιβαλλοντική θερμοκρασία που περιβάλλει την ψυχρή σύνδεση (T2) ποικίλλει, μια θερμικά παραγμένη τάση εμφανίζεται και παράγει ένα σφάλμα στην παραγωγή. Εντούτοις, μια αυτόματη ίση και αντίθετη τάση εισάγεται στη σειρά με το θερμικό σφάλμα. Αυτό ακυρώνει το σφάλμα και διατηρεί την ισοδύναμη θερμοκρασία συνδέσεων αναφοράς πέρα από μια ευρεία σειρά περιβαλλοντικής θερμοκρασίας με έναν υψηλό βαθμό ακρίβειας. Με την ενσωμάτωση των μολύβδων χαλκού με την ψυχρή σύνδεση, το ίδιο το υλικό θερμοηλεκτρικών ζευγών δεν συνδέεται με το τερματικό παραγωγής της συσκευής μέτρησης, με αυτόν τον τρόπο εξαλείφονται τα δευτεροβάθμια σφάλματα.

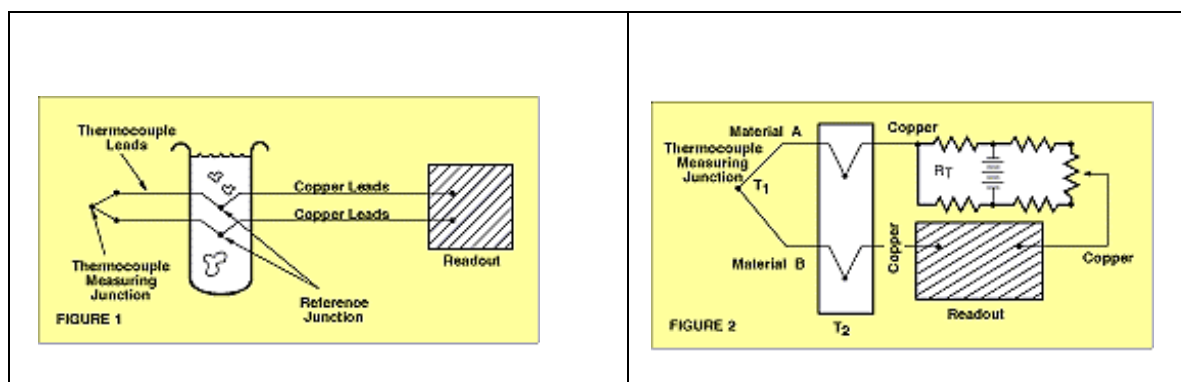
2.4.3 Θερμοηλεκτρική μέθοδος ψύξης.

Η Omega™ TRC θερμοηλεκτρική αίθουσα αναφοράς πάγου στο σημείο TM στηρίζεται στην πραγματική ισορροπία του πάγου σε αποσταγμένο, εξιοντισμένο νερό και ατμοσφαιρική πίεση για να διατηρηθούν τα διάφορα φρεάτια αναφοράς ακριβώς στους 0°C. Τα φρεάτια επεκτείνονται σε ένα σφραγισμένο κυλινδρικό χώρο που περιέχει το καθαρό αποσταγμένο, εξιοντισμένο νερό. Οι εξωτερικοί τοίχοι του χώρου ψύχονται από τα θερμοηλεκτρικά ψύχοντας τα στοιχεία για να προκαλέσουν το πάγωμα του ύδατος. Η αύξηση στον όγκο που παράγεται με το πάγωμα του στοιχείου στον τοίχο αισθάνεται από την επέκταση στους φουσητήρες που ενεργοποιεί έναν μικρό διακόπτη, που αποσυνδέει το ψυχόμενο στοιχείο. Το

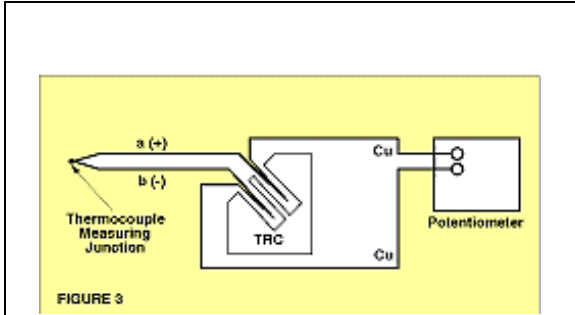
εναλλασσόμενο πάγωμα και το ξεπάγωμα του στοιχείου διατηρούν ακριβώς στους 0°C το περιβάλλον γύρω από τα φρεάτια αναφοράς. Μια σχηματική αναπαράσταση της εφαρμογής παρουσιάζεται στο σχήμα. 3.

Η απολύτως αυτόματη λειτουργία εξαλείφει την ανάγκη για τη συχνή προσοχή που απαιτείται από τα κοινά λουτρά πάγου. Οι αναγνώσεις του θερμοηλεκτρικού ζεύγους μπορούν να γίνουν άμεσα από τους πίνακες αναφοράς σημείου πάγου, όπως εκείνοι απαριθμούνται στο τεχνικό τμήμα, χωρίς παραγωγή των διορθώσεων για τη θερμοκρασία συνδέσεων αναφοράς. Οποιοσδήποτε συνδυασμός θερμοηλεκτρικών ζευγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αυτό το όργανο, απλά θα παρεμβάλει τις συνδέσεις αναφοράς στα φρεάτια αναφοράς. Η βαθμολόγηση άλλων τύπων αισθητήρων σε θερμοκρασία 0°C μπορεί να εκτελεσθεί επίσης. Θερμαμένες αναφορές φούρνων: Ο τύπος διπλών φούρνων χρησιμοποιεί δύο ελεγχόμενους ως προς τη θερμοκρασία φούρνους για να μιμηθεί τις θερμοκρασίες αναφοράς πάγου-σημείου όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Δύο φούρνοι χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές θερμοκρασίες για να δώσουν το αντίτιμο μιας χαμηλής θερμοκρασίας αναφοράς που διαφέρει από τη θερμοκρασία του καθενός φούρνου. Παραδείγματος χάριν, οι μόλυβδοι από έναν έλεγχο θερμοηλεκτρικών ζευγών τύπων K συνδέονται σε θερμοκρασία 150°F φούρνου για να παραγάγουν ένα Chromega[™]-Alomega[™] και μια σύνδεση Alomega - Chromega 150°F (2.66 mV το κάθε ένα).

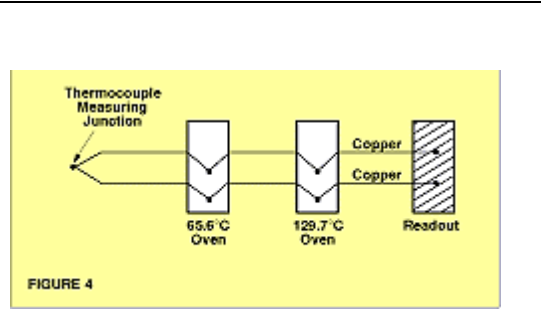
Η τάση μεταξύ των καλωδίων παραγωγής του πρώτου φούρνου θα είναι δύο φορές 2,66 mV ή 5.32 mV. Για να αντισταθμίσουν αυτό το επίπεδο τάσης, οι μόλυβδοι παραγωγής (Chromega και Alomega) συνδέονται με τους μόλυβδους χαλκού μέσα σε έναν δεύτερο φούρνο που διατηρείται στους 265.5°F. Αυτή είναι η ακριβής θερμοκρασία στην οποία Chromega- Χαλκός και Alomega - Χαλκός παράγουν μια τάση του διαφορικού 5.32 mV. Κατά συνέπεια, αυτή η τάση ακυρώνει 5.32 mV, διαφορετικά από τα πρώτα κατάλοιπα φούρνων 0 mV στα τερματικά παραγωγής χαλκού. Αυτή η τάση ισοδυναμεί με 32°F (0°C).



<p>Σχήμα 2.3 : Αρχή σύνδεσης αναφοράς σε ένα λουτρό ύδατος πάγου σε μία σταθερή θερμοκρασία 0°C.</p>	<p>Σχήμα 2.4 : Ηλεκτρική μέθοδος γεφυρών.</p>
--	---



Σχήμα 2.5 : Θερμοηλεκτρική μέθοδος Ψύξης.



Σχήμα 2.6 : Τύπος διπλών φούρνων.

2.5. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ THERMOCOUPLE

Συντελεστές θερμοκρασίας , Τάσης καθώς και Εύρος Σφάλματος.

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο B thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής: $E = \sum(i=0 \text{ έως } n) c_i t^i$

Όνομα : ITS-90

Τύπος : B

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας (°C)

0.000 έως 630.615

630.615 έως 1820.000

Εύρος θερμοκρασίας:	Εύρος θερμοκρασίας:
0.000, 630.615, 6	630.615, 1820.000, 8
0.000000000000E+00	-0.389381686210E+01

-0.246508183460E-03	0.285717474700E-01
0.590404211710E-05	-0.848851047850E-04
-0.132579316360E-08	0.157852801640E-06
0.156682919010E-11	-0.168353448640E-09
-0.169445292400E-14	0.111097940130E-12
0.629903470940E-18	-0.445154310330E-16
	0.989756408210E-20
	-0.937913302890E-24

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο B thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων, η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_90 είναι σε °C.

Θερμοκρασία Εύρος (°C)	Τάση Εύρος (mV)	Σφάλμα Εύρος (° C)
250. έως 700.	0.291 έως 2.431	-0.02 έως 0.03
700. έως 1800.	2.431 έως 13.820	-0.01 έως 0.02

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

0.291 έως 2.431	2.431 έως 13.820
9.8423321E+01	2.1315071E+02
6.9971500E+02	2.8510504E+02
-8.4765304E+02	-5.2742887E+01
1.0052644E+03	9.9160804E+00
-8.3345952E+02	-1.2965303E+00
4.5508542E+02	1.1195870E-01
-1.5523037E+02	-6.0625199E-03

2.9886750E+01	1.8661696E-04
-2.4742860E+00	-2.4878585E-06

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο E thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \sum_{i=0}^n c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος : E

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-270.000 έως 0.000

0.000 έως 1000.000

Εύρος θερμοκρασίας:	Εύρος θερμοκρασίας:
-270.000, 0.000, 13	0.000, 1000.000, 10
0.000000000000E+00	0.000000000000E+00
0.586655087080E-01	0.586655087100E-01
0.454109771240E-04	0.450322755820E-04
-0.779980486860E-06	0.289084072120E-07
-0.258001608430E-07	-0.330568966520E-09
-0.594525830570E-09	0.650244032700E-12
-0.932140586670E-11	-0.191974955040E-15
-0.102876055340E-12	-0.125366004970E-17
-0.803701236210E-15	0.214892175690E-20
-0.439794973910E-17	-0.143880417820E-23
-0.164147763550E-19	0.359608994810E-27
-0.396736195160E-22	
-0.558273287210E-25	
-0.346578420130E-28	

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο E thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_90 είναι σε °C.

Θερμοκρασία εύρος: (°C)	Τάση εύρος: (mV)	Σφάλμα εύρος: (° C)
-200. έως 0.	-8.825 έως 0.000	-0.01 έως 0.03
0. έως 1000.	0.000 έως 76.373	-0.02 έως 0.02

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-8.825 έως 0.000	0.000 έως 76.373
0.0000000E+00	0.0000000E+00
1.6977288E+01	1.7057035E+01
-4.3514970E-01	-2.3301759E-01
-1.5859697E-01	6.5435585E-03
-9.2502871E-02	-7.3562749E-05
-2.6084314E-02	-1.7896001E-06
-4.1360199E-03	8.4036165E-08
-3.4034030E-04	-1.3735879E-09
-1.1564890E-05	1.0629823E-11
0.0000000E+00	-3.2447087E-14

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο J thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \text{sum}(i=0 \text{ to } n) c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος : J

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-210.000 έως 760.000

760.000 έως 1200.000

Θερμοκρασία (εύρος)	Θερμοκρασία (εύρος)
-210.000, 760.000, 8	760.000, 1200.000, 5
0.000000000000E+00	0.296456256810E+03
0.503811878150E-01	-0.149761277860E+01
0.304758369300E-04	0.317871039240E-02
-0.856810657200E-07	-0.318476867010E-05
0.132281952950E-09	0.157208190040E-08
-0.170529583370E-12	-0.306913690560E-12
0.209480906970E-15	
-0.125383953360E-18	
0.156317256970E-22	

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο J thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-210. έως 0.	-8.095 έως 0.000	-0.05 έως 0.03
0. έως 760.	0.000 έως 42.919	-0.04 έως 0.04
760. έως 1200	42.919 έως 69.553	-0.04 έως 0.03

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-8.095 έως 0.000	0.000 έως 42.919	42.919 έως 69.553
0.0000000E+00	0.000000E+00	-3.11358187E+03

1.9528268E+01	1.978425E+01	3.00543684E+02
-1.2286185E+00	-2.001204E-01	-9.94773230E+00
-1.0752178E+00	1.036969E-02	1.70276630E-01
-5.9086933E-01	-2.549687E-04	-1.43033468E-03
-1.7256713E-01	3.585153E-06	4.73886084E-06
-2.8131513E-02	-5.344285E-08	0.00000000E+00
-2.3963370E-03	5.099890E-10	0.00000000E+00
-8.3823321E-05	0.000000E+00	0.00000000E+00

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο K thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση κατωτέρω στους 0°C είναι της μορφής : $E = \sum(i=0 \text{ to } n) c_i t^i$.

Η εξίσωση ανωτέρω στους 0°C είναι της μορφής :

$$E = \sum(i=0 \text{ to } n) c_i t^i + a_0 \exp(a_1 (t - a_2)^2).$$

Όνομα : ITS-90

Τύπος :K

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-270.000 έως 0.000

0.000 έως 1372.000

Θερμοκρασία (εύρος) °C	Θερμοκρασία (εύρος) °C	Εκθέτης:
-270.000, 0.000, 10	0.000, 1372.000, 9	
0.000000000000E+00	-0.176004136860E-01	a0 = 0.118597600000E+00
0.394501280250E-01	0.389212049750E-01	a1 = -0.118343200000E-03
0.236223735980E-04	0.185587700320E-04	a2 = 0.126968600000E+03
-0.328589067840E-06	-0.994575928740E-07	
-0.499048287770E-08	0.318409457190E-09	
-0.675090591730E-10	-0.560728448890E-12	
-0.574103274280E-12	0.560750590590E-15	
-0.310888728940E-14	-0.320207200030E-18	

-0.104516093650E-16	0.971511471520E-22	
-0.198892668780E-19	-0.121047212750E-25	
-0.163226974860E-22		

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο K thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-200. έως 0.	-5.891 έως 0.000	-0.02 έως 0.04
0. έως 500.	0.000 έως 20.644	-0.05 έως 0.04
500. έως 1372.	20.644 έως 54.886	-0.05 έως 0.06

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-5.891 έως 0.000	0.000 έως 20.644	20.644 έως 54.886
0.0000000E+00	0.0000000E+00	-1.318058E+02
2.5173462E+01	2.508355E+01	4.830222E+01
-1.1662878E+00	7.860106E-02	-1.646031E+00
-1.0833638E+00	-2.503131E-01	5.464731E-02
-8.9773540E-01	8.315270E-02	-9.650715E-04
-3.7342377E-01	-1.228034E-02	8.802193E-06
-8.6632643E-02	9.804036E-04	-3.110810E-08
-1.0450598E-02	-4.413030E-05	0.000000E+00
-5.1920577E-04	1.057734E-06	0.000000E+00
0.0000000E+00	-1.052755E-08	0.000000E+00

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο N thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \sum_{i=0 \text{ to } n} c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος :N

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-270.000 έως 0.000

0.000 έως 1300.000

Εύρος Θερμοκρασίας °C	Εύρος Θερμοκρασίας °C
-270.000, 0.000, 8	0.000, 1300.10
0.000000000000E+00	0.000000000000E+00
0.261591059620E-01	0.259293946010E-01
0.109574842280E-04	0.157101418800E-04
-0.938411115540E-07	0.438256272370E-07
-0.464120397590E-10	-0.252611697940E-09
-0.263033577160E-11	0.643118193390E-12
-0.226534380030E-13	-0.100634715190E-14
-0.760893007910E-16	0.997453389920E-18
-0.934196678350E-19	-0.608632456070E-21
	0.208492293390E-24
	-0.306821961510E-28

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο N thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-200. έως 0.	-3.990 έως 0.000	-0.02 έως 0.03

0. έως 600.	0.000 έως 20.613	-0.02 έως 0.03
600. έως 1300.	20.613 έως 47.513	-0.04 έως 0.02

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-3.990 έως 0.000	0.000 έως 20.613	20.613 έως 47.513
0.0000000E+00	0.00000E+00	1.972485E+01
3.8436847E+01	3.86896E+01	3.300943E+01
1.1010485E+00	-1.08267E+00	-3.915159E-01
5.2229312E+00	4.70205E-02	9.855391E-03
7.2060525E+00	-2.12169E-06	-1.274371E-04
5.8488586E+00	-1.17272E-04	7.767022E-07
2.7754916E+00	5.39280E-06	0.000000E+00
7.7075166E-01	-7.98156E-08	0.000000E+00
1.1582665E-01	0.00000E+00	0.000000E+00
7.3138868E-03	0.00000E+00	0.000000E+00

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο R thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \sum(i=0 \text{ to } n) c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος :R

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-50.000 έως 1064.180

1064.180 έως 1664.500

1664.500 έως 1768.100

Θερμοκρασία (Εύρος)(°C)	Θερμοκρασία (Εύρος)(°C)	Θερμοκρασία (Εύρος)(°C)
-50.000, 1064.180, 9	1064.180, 1664.500, 5	1664.5, 1768.1, 4
0.000000000000E+00	0.295157925316E+01	0.152232118209E+03
0.528961729765E-02	-0.252061251332E-02	-0.268819888545E+00
0.139166589782E-04	0.159564501865E-04	0.171280280471E-03
-0.238855693017E-07	-0.764085947576E-08	-0.345895706453E-07
0.356916001063E-10	0.205305291024E-11	-0.934633971046E-14
-0.462347666298E-13	-0.293359668173E-15	
0.500777441034E-16		
-0.373105886191E-19		
0.157716482367E-22		
-0.281038625251E-26		

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο R thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-50. έως 250.	-0.226 έως 1.923	-0.02 έως 0.02
250. έως 1200.	1.923 έως 13.228	-0.005 έως 0.005
1064. έως 1664.5	11.361 έως 19.739	-0.0005 έως 0.001
1664.5 έως 1768.1	19.739 έως 21.103	-0.001 έως 0.002

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-0.226 έως 1.923	1.923 έως 13.228	11.361 έως 19.739	19.739 έως 21.103
0.0000000E+00	1.334584505E+01	-8.199599416E+01	3.406177836E+04

1.8891380E+02	1.472644573E+02	1.553962042E+02	-7.023729171E+03
-9.3835290E+01	-1.844024844E+01	-8.342197663E+00	5.582903813E+02
1.3068619E+02	4.031129726E+00	4.279433549E-01	-1.952394635E+01
-2.2703580E+02	-6.249428360E-01	-1.191577910E-02	2.560740231E-01
3.5145659E+02	6.468412046E-02	1.492290091E-04	0.000000000E+00
-3.8953900E+02	-4.458750426E-03	0.000000000E+00	0.000000000E+00
2.8239471E+02	1.994710149E-04	0.000000000E+00	0.000000000E+00
-1.2607281E+02	-5.313401790E-06	0.000000000E+00	0.000000000E+00
3.1353611E+01	6.481976217E-08	0.000000000E+00	0.000000000E+00
-3.3187769E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00	0.000000000E+00

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο S thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \sum_{i=0}^{n} c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος :S

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-50.000 έως 1064.180

1064.180 έως 1664.500

1664.500 έως 1768.100

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Θερμοκρασία (εύρος) (°C)
-50.000, 1064.180, 8	1064.180, 1664.500, 4	1664.5, 1768.1, 4
0.000000000000E+00	0.132900444085E+01	0.146628232636E+03
0.540313308631E-02	0.334509311344E-02	-0.258430516752E+00
0.125934289740E-04	0.654805192818E-05	0.163693574641E-03
-0.232477968689E-07	-0.164856259209E-08	-0.330439046987E-07

0.322028823036E-10	0.129989605174E-13	-0.943223690612E-14
-0.331465196389E-13		
0.255744251786E-16		
-0.125068871393E-19		
0.271443176145E-23		

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο S thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-50. έως 250.	-0.235 έως 1.874	-0.02 έως 0.02
250. έως 1200.	1.874 έως 11.950	-0.01 έως 0.01
1064. έως 1664.5	10.332 έως 17.536	-0.0002 έως 0.0002
1664.5 έως 1768.1	17.536 έως 18.693	-0.002 έως 0.002

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-0.235 έως 1.874	1.874 έως 11.950	10.332 έως 17.536	17.536 έως 18.693
0.00000000E+00	1.291507177E+01	-8.087801117E+01	5.333875126E+04
1.84949460E+02	1.466298863E+02	1.621573104E+02	-1.235892298E+04
-8.00504062E+01	-1.534713402E+01	-8.536869453E+00	1.092657613E+03
1.02237430E+02	3.145945973E+00	4.719686976E-01	-4.265693686E+01
-1.52248592E+02	-4.163257839E-01	-1.441693666E-02	6.247205420E-01
1.88821343E+02	3.187963771E-02	2.081618890E-04	0.000000000E+00
-1.59085941E+02	-1.291637500E-03	0.000000000E+00	0.000000000E+00
8.23027880E+01	2.183475087E-05	0.000000000E+00	0.000000000E+00
-2.34181944E+01	-1.447379511E-07	0.000000000E+00	0.000000000E+00

2.79786260E+00	8.211272125E-09	0.000000000E+00	0.000000000E+00
----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Το τμήμα αυτό περιέχει τους συντελεστές για τον τύπο T thermocouples για τα δύο διαστήματα της θερμοκρασίας που απαριθμούνται κατωτέρω. Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $E = \sum(i=0 \text{ to } n) c_i t^i$.

Όνομα : ITS-90

Τύπος : T

Μονάδες θερμοκρασίας : °C

Emf μονάδες : mV

Εύρος θερμοκρασίας : (°C)

-270.000 έως 0.000

0.000 έως 400.000

Θερμοκρασία (εύρος) °C	Θερμοκρασία (εύρος) °C
-270.000, 0.000, 14	0.000, 400.000, 8
0.000000000000E+00	0.000000000000E+00
0.387481063640E-01	0.387481063640E-01
0.441944343470E-04	0.332922278800E-04
0.118443231050E-06	0.206182434040E-06
0.200329735540E-07	-0.218822568460E-08
0.901380195590E-09	0.109968809280E-10
0.226511565930E-10	-0.308157587720E-13
0.360711542050E-12	0.454791352900E-16
0.384939398830E-14	-0.275129016730E-19
0.282135219250E-16	
0.142515947790E-18	
0.487686622860E-21	
0.107955392700E-23	
0.139450270620E-26	
0.797951539270E-30	

Αυτό το τμήμα περιέχει τους συντελεστές της κατά προσέγγιση αντίστροφης λειτουργίας για τον τύπο T thermocouples για τα διαστήματα θερμοκρασίας και τάσης που απαριθμούνται παρακάτω. Η σειρά των σφαλμάτων η κατά προσέγγιση αντίστροφη λειτουργία για κάθε διάστημα δίνεται επίσης.

Οι συντελεστές είναι σε μονάδες °C και mV.

Η εξίσωση είναι της μορφής : $t_{90} = d_0 + d_1 * E + d_2 * E^2 + \dots + d_n * E^n$,

Όπου E είναι σε m V και t_{90} είναι σε °C.

Θερμοκρασία (εύρος) (°C)	Τάση (εύρος) (mV)	Σφάλμα (εύρος) (° C)
-200. έως 0.	-5.603 έως 0.000	-0.02 έως 0.04
0.0 έως 400.	0.000 έως 20.872	-0.03 έως 0.03

ΤΑΣΗ (ΕΥΡΟΣ) (MV)

-5.603 έως 0.000	0.000 έως 20.872
0.0000000E+00	0.000000E+00
2.5949192E+01	2.592800E+01
-2.1316967E-01	-7.602961E-01
7.9018692E-01	4.637791E-02
4.2527777E-01	-2.165394E-03
1.3304473E-01	6.048144E-05
2.0241446E-02	-7.293422E-07
1.2668171E-03	0.000000E+00

2.6 Ορισμοί συντελεστών λειτουργίας αναφοράς

Η γενική μορφή για emf, E, σαν λειτουργία t_{90} για όλους τους τύπους εκτός από τον τύπο K thermocouples είναι:

$$E = \sum_{i=0}^n c_i (t_{90})^i$$

όπου E είναι σε mV και t_{90} είναι σε °C. Για τον τύπο K thermocouples στους 0 °C, υπάρχει ένας πρόσθετος όρος για να αποτελέσει μια μαγνητική επίδραση:

$$E = \sum_{i=0}^n c_i (t_{90})^i + a_0 e^{a_1 (t_{90} - a_2)^2}$$

όπου e είναι η φυσική σταθερά του λογαρίθμου, E είναι σε mV, και t_{90} είναι σε °C. Οι σταθερές a_0 , a_1 , και a_2 έχουν τις τιμές:

$a_0 = 0.118597600000 \times 10^0$
$a_1 = -0.118343200000 \times 10^{-3}$
$a_2 = 0.126968600000 \times 10^3$

2.7. ΚΑΛΩΔΙΑ THERMOCOUPLE



Σχήμα 2.7 Καλώδιο Λεπτού διαμετρήματος Λευκόχρυσου-Ρόδιου
Θερμοηλεκτρικού ζεύγους. SPPL, SP13RH, SP10RH, SP6RH, SP30RH

Για την υψηλή αντίσταση στην οξείδωση και τη διάβρωση στις υψηλές θερμοκρασίες, η OMEGA προσφέρει στην υψηλότερη ποιότητα το ανασφάλιστο καλώδιο για τρεις τύπους “ευγενές μέταλλο” θερμοηλεκτρικού ζεύγους. Είναι:

Τύπος S: Λευκόχρυσος (-) με Λευκόχρυσο 10% Ρόδιο (+)

Τύπος R: Λευκόχρυσος (-) με Λευκόχρυσο 13% Ρόδιο (+)

Τύπος B: Λευκόχρυσος 6% Ρόδιο (-) με Λευκόχρυσο 30% Ρόδιο (+)

Οι τύποι R και S συστήνονται για συνεχή χρήση στις οξειδωτικές ή αδρανείς ατμόσφαιρες μέχρι 2550°F (1398°C) ή βραχυπρόθεσμες εκθέσεις σε 2700°F (1482°C). Ο τύπος B

εκτιμάται για τη συνεχή χρήση μέχρι και 3100°F (1704°C) στις οξειδωτικές ή αδρανείς ατμόσφαιρες. Κατά τη λειτουργία κοντά σε αυτές τις μέγιστες θερμοκρασίες, συστήνονται βαρύτερα μεγέθη διαμετρημάτων καλωδίων.

Και οι τρεις τύποι thermocouple μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κενό για τις μικρές χρονικές περιόδους. Ο τύπος B προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα σε τέτοιες εφαρμογές. Κανένας δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη μείωση των ατμοσφαιρών ή στις ατμόσφαιρες που περιέχουν τους μεταλλικούς ή μη μεταλλικούς ατμούς εκτός αν είναι προστατευμένος από τους μη μεταλλικούς σωλήνες προστασίας. Μην παρεμβάλλετε άμεσα στους μεταλλικούς σωλήνες προστασίας.

Σειρά μεγεθών από 0.001 έως 0.032" (0.025 έως 0.812 mm) διάμετρο. Όταν ζητείται, το καλώδιο παρέχεται ανά τα αντιστοιχημένα ζευγάρια που συναντούν ή υπερβαίνουν τα τυποποιημένα όρια του σφάλματος. Για ειδικά όρια σφάλματος το καλώδιο παρέχεται κατόπιν αιτήσεως και πρέπει να διαταχτεί ως αντιστοιχημένα ζευγάρια. BR> Το μονωμένο διπλό καλώδιο βαθμού επέκτασης για τους τύπους R, S, και B είναι επίσης διαθέσιμο. Δείτε, παραδείγματος χάριν, τους πρότυπους αριθμούς EXGG-RS, EXTT-RS, EXPP-RS υπό τον τίτλο ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ.

Μη μονωμένο λεπτό μεταλλικό καλώδιο Θερμοηλεκτρικού ζεύγους.

Υλικό	Ονομαστική Διάμετρος Καλωδίου mm (")	Πρότυπο Νούμερο	Υλικό	Ονομαστική Διάμετρος Καλωδίου mm (")	Πρότυπο Νούμερο
Λευκόχρυσος (RN, SN)	0.03 (0.001)	SPPL-001	Λευκόχρυσος 13% Rh (RP)	0.03 (0.001)	SP13RH-001
	0.05 (0.002)	SPPL-002		0.05 (0.002)	SP13RH-002
	0.08 (0.003)	SPPL-003		0.08 (0.003)	SP13RH-003
	0.13 (0.005)	SPPL-005		0.13 (0.005)	SP13RH-005
	0.20 (0.008)	SPPL-008		0.20 (0.008)	SP13RH-008
	0.25 (0.010)	SPPL-010		0.25 (0.010)	SP13RH-010
	0.38 (0.015)	SPPL-015		0.38 (0.015)	SP13RH-015
	0.51 (0.020)	SPPL-020		0.51 (0.020)	SP13RH-020
	0.64 (0.025)	SPPL-025		0.64 (0.025)	SP13RH-025
	0.81 (0.032)	SPPL-032		0.81 (0.032)	SP13RH-032
Λευκόχρυσος 10% Rh (SP)	0.03 (0.001)	SP10RH-001	Λευκόχρυσος 6% Rh (BN)	0.20 (0.008)	SP6RH-008
		SP10RH-002		0.25 (0.010)	SP6RH-010
		SP10RH-003		0.38 (0.015)	SP6RH-015
		SP10RH-005		0.51 (0.020)	SP6RH-020
		SP10RH-008		0.81 (0.032)	SP6RH-032
	0.13 (0.005)	SP10RH-010	Λευκόχρυσος 30% Rh (BP)	0.20 (0.008)	SP30RH-008
		SP10RH-015		0.25 (0.010)	SP30RH-010
		SP10RH-020		0.38 (0.015)	SP30RH-015
		SP10RH-025		0.51 (0.020)	SP30RH-020
		SP10RH-032		0.81 (0.032)	SP30RH-032

Μονωμένο διπλό καλώδιο βαθμού επέκτασης.

Thermocouple Υλικό	Χρήση με	Πρότυπο AWG	Θερμοκρασία Αριθμός	Μέγιστος	
				°C	°F
Cu- Κράμα 11	R&S	24	EXTT-RS-24	200	392
		24	EXGG-RS-24	200	392
		20	EXTT-RS-20	200	392
Cu-Cu	B	26	EXTT-B-26S	100	212
		24	EXPP-B-24S	100	212
		20	EXGG-B-20	100	212

Σημείωση: Η δημοσιευμένη τιμή είναι βασισμένη στην αγοραστική αξία στο χρόνο της εκτύπωσης και υπόκειται στην αλλαγή λόγω των διακυμάνσεων αγοράς πολύτιμων μετάλλων.

Μη μονωμένο ζευγάρι καλωδίου λεπτού μετάλλου Θερμοηλεκτρικού ζεύγους.

T/C Τύπος	Υλικό	Καλώδιο διαμέτρου mm (inch)	Πρότυπο Νούμερο
R	Λευκόχρυσος με Λευκόχρυσος -13% Ρόδιο	0.03 (0.001)	SP13R-001
		0.05 (0.002)	SP13R-002
		0.08 (0.003)	SP13R-003
		0.13 (0.005)	SP13R-005
		0.20 (0.008)	SP13R-008
		0.25 (0.010)	SP13R-010
		0.38 (0.015)	SP13R-015
		0.51 (0.020)	SP13R-020
		0.64 (0.025)	SP13R-025
		0.81 (0.032)	SP13R-032
S	Λευκόχρυσος με Λευκόχρυσος -10% Ρόδιο	0.03 (0.001)	SP10R-001
		0.05 (0.002)	SP10R-002
		0.08 (0.003)	SP10R-003
		0.13 (0.005)	SP10R-005
		0.20 (0.008)	SP10R-008
		0.25 (0.010)	SP10R-010
		0.38 (0.015)	SP10R-015
		0.51 (0.020)	SP10R-020
		0.64 (0.025)	SP10R-025
		0.81 (0.032)	SP10R-032
B	Λευκόχρυσος -6% Ρόδιο με Λευκόχρυσος -30% Ρόδιο	0.20 (0.008)	SP30R-008
		0.25 (0.010)	SP30R-010
		0.38 (0.015)	SP30R-015
		0.51 (0.020)	SP30R-020
		0.81 (0.032)	SP30R-032

Η τιμή της μονάδας του μέτρου είναι διπλή ίντσα. Μια διπλή ίντσα είναι 25 mm (1") από το θετικό και 25 mm (1") από το ταίριασμα του αρνητικού καλωδίου.

**Λεπτό διαμέτρημα, Ενιαίο σκέλος, Μονωμένο Καλώδιο Θερμοηλεκτρικού ζεύγους
TFIR,TFCH,TFCL,TFCC,TFCP,TFCY και TFAL.**



Για το θερμοηλεκτρικό ζεύγος της OMEGA το λεπτό καλώδιο διαμετρημάτων είναι διαθέσιμο σε 50, 100, 500 και 1000 ft. στροφία. Κάθε στροφίο αντιπροσωπεύει ένα ενιαίο άκρο θερμοηλεκτρικού ζεύγους. Η σειρά διαμέτρων των καλωδίων είναι από 0.07mm(0.003") μέχρι 0.81mm(0.032"). Το καλώδιο καλύπτεται από εξωθημένη PFA μόνωση. Το πάχος μόνωσης είναι 3 mil για τα μεγέθη καλωδίων με λιγότερο από 0.25 mm (0.010"). Για τα μεγέθη καλωδίων μεγαλύτερα από 0.25 mm (0.010"), το πάχος μόνωσης είναι 8 mil.

ΡFA Μονωμένο ενιαίο σκέλος.

	Κράμα /ANSI Κωδικός Χρώματος	Ονομαστικό Καλώδιο Διαμέτρου mm (")	Πρότυπο νούμερο		Κράμα /ANSI Κωδικός Χρώματος	Καλώδιο Διαμέτρου mm (")	Πρότυπο νούμερο
J	Σίδηρος / Άσπρο	0.08 (0.003)	TFIR-003-(*)	E	CHROMEGA®/ Πορφυρό	0.08 (0.003)	TFCH-003-(*)
		0.13 (0.005)	TFIR-005-(*)			0.13 (0.005)	TFCH-005-(*)
		0.25 (0.010)	TFIR-010-(*)			0.25 (0.010)	TFCH-010-(*)
		0.38 (0.015)	TFIR-015-(*)			0.38 (0.015)	TFCH-015-(*)
		0.51 (0.020)	TFIR-020-(*)			0.51 (0.020)	TFCH-020-(*)
		0.81 (0.032)	TFIR-032-(*)			0.81 (0.032)	TFCH-032-(*)
	Constantan †/ Κόκκινο	0.08 (0.003)	TFCI-003-(*)		Constantan †/ Κόκκινο	0.08 (0.003)	TFCC-003-(*)
		0.13 (0.005)	TFCI-005-(*)			0.13 (0.005)	TFCC-005-(*)
		0.25 (0.010)	TFCI-010-(*)			0.25 (0.010)	TFCC-010-(*)
		0.38 (0.015)	TFCI-015-(*)			0.38 (0.015)	TFCC-015-(*)
		0.51 (0.020)	TFCI-020-(*)			0.51 (0.020)	TFCC-020-(*)
		0.81 (0.032)	TFCI-032-(*)			0.81 (0.032)	TFCC-032-(*)
T	Χαλκός / Μπλε	0.08 (0.003)	TFCP-003-(*)	K	CHROMEGA ®/ Κίτρινο	0.08 (0.003)	TFCY-003-(*)
		0.13 (0.005)	TFCP-005-(*)			0.13 (0.005)	TFCY-005-(*)
		0.25 (0.010)	TFCP-010-(*)			0.25 (0.010)	TFCY-010-(*)
		0.38 (0.015)	TFCP-015-(*)			0.38 (0.015)	TFCY-015-(*)
		0.51 (0.020)	TFCP-020-(*)			0.51 (0.020)	TFCY-020-(*)
		0.81 (0.032)	TFCP-032-(*)			0.81 (0.032)	TFCY-032-(*)
	Constantan †/ Κόκκινο	0.08 (0.003)	TFCC-003-(*)		ALOMEGA®/ Κόκκινο	0.08 (0.003)	TFAL-003-(*)
		0.13 (0.005)	TFCC-005-(*)			0.13 (0.005)	TFAL-005-(*)
		0.25 (0.010)	TFCC-010-(*)			0.25 (0.010)	TFAL-010-(*)
		0.38 (0.015)	TFCC-015-(*)			0.38 (0.015)	TFAL-015-(*)
		0.51 (0.020)	TFCC-020-(*)			0.51 (0.020)	TFAL-020-(*)
		0.81 (0.032)	TFCC-032-(*)			0.81 (0.032)	TFAL-032-(*)

†Constantan αντιστοιχείται σε σίδηρο, χαλκό ή CHROMEGA®. Κατά τη διαλογή των "αντιστοιχημένων ζευγαριών," να είμαστε βέβαιοι να διευκρινίσουμε TFCI με TFIR, TFCC με TFCP, ή TFCC με TFCH.

* Τυποποιημένο μήκος 50', 100', 500', 1000'.

Διπλό OMEGACLAD® Καλώδιο Θερμοηλεκτρικού ζεύγους - Μόνωση οξειδίων μαγνήσιου με τη θήκη μετάλλων. 304-(*) - ΔΙΠΛΟ και INC-(*)- ΔΙΠΛΗ σειρά.



Το διπλό καλώδιο ζευγαριού μπορεί να γίνει σε έναν ενιαίο έλεγχο που επιτρέπει τη μετάδοση "χωρίζει το σήμα". Αυτό το διπλό σήμα μπορεί να συνδεθεί με ένα όργανο καταγραφής ελεγκτών και διαγραμμάτων συγχρόνως για να επιτηρήσει και να ελέγξει την ίδια τη θέση της θερμοκρασίας.

Διαθέσιμο σε αυτά τα μεγέθη:

0.250"	(6.4	mm)
0.188"	(4.8	mm)
0.125"	(3.2	mm)
0.062"	(1.6	mm)

Τεχνικές σημειώσεις: Της OMEGACLAD® το καλώδιο μπορεί να γίνει σε έναν στηριγμένο έλεγχο συνδέσεων και να παρεμβάλλεται σε έναν σωλήνα με την αρμόζων συμπίεση.

Μόνωση. Το συμπιεσμένο οξείδιο μαγνησίου είναι υγροσκοπικό (απορροφά την υγρασία)

Πρότυπο νούμερο	Καλώδιο Βαθμολόγηση	Θήκη Υλικό	Θήκη Διαμέτρ. (in.)	Τοίχος Πάχους (in.)	Αντίσταση 60°F Ohms/ Dbl. ft.	Διάμ. Καλωδ (in.)	AWG Διαμέτ ρημα
304-J-MO-062-DUAL	Σίδηρος - Constantan J	304	0.062	0.010	3.6	0.010	30
304-J-MO-125-DUAL		Ανοξειδω	0.125	0.018	0.88	0.020	24
304-J-MO-188-DUAL		τος	0.188	0.025	0.36	0.032	20
304-J-MO-250-DUAL		Χάλυβας	0.250	0.036	0.22	0.040	18
INC-J-MO-062-DUAL	Σίδηρος - Constantan J	Inconel	0.062	0.010	3.6	0.010	30
INC-J-MO-125-DUAL		600	0.125	0.018	0.88	0.020	24
INC-J-MO-188-DUAL			0.188	0.025	0.36	0.032	20
INC-J-MO-250-DUAL			0.250	0.036	0.22	0.040	18
304-K-MO-062-DUAL	CHROME GA®- ALOMEGA® K	304	0.062	0.010	6.0	0.010	30
304-K-MO-125-DUAL		Ανοξειδω	0.125	0.018	1.5	0.020	24
304-K-MO-188-DUAL		τος	0.188	0.025	0.59	0.032	20
304-K-MO-250-DUAL		Χάλυβας	0.250	0.036	0.37	0.040	18
INC-K-MO-062-DUAL	CHROME GA®- ALOMEGA® K	Inconel	0.062	0.010	6.0	0.010	30
INC-K-MO-125-DUAL		600	0.125	0.018	1.5	0.020	24
INC-K-MO-188-DUAL			0.188	0.025	0.59	0.032	20
INC-K-MO-250-DUAL			0.250	0.036	0.37	0.040	18
304-T-MO-062-DUAL	Χαλκός - Constantan T	304	0.062	0.010	3.0	0.010	30
304-T-MO-125-DUAL		Ανοξειδω	0.125	0.018	0.75	0.020	24
304-T-MO-188-DUAL		τος	0.188	0.025	0.298	0.032	20
304-T-MO-250-DUAL		Χάλυβας	0.250	0.036	0.19	0.040	18
INC-T-MO-062-DUAL	Χαλκός - Constantan T	Inconel	0.062	0.010	3.04	0.010	30
INC-T-MO-125-DUAL		600	0.125	0.018	0.75	0.020	24
INC-T-MO-188-DUAL			0.188	0.025	0.19	0.032	20
INC-T-MO-250-DUAL			0.250	0.036	0.19	0.040	18
304-E-MO-062-DUAL	CHROME GA®- Constantan E	304	0.062	0.010	7.17	0.010	30
304-E-MO-125-DUAL		Ανοξειδω	0.125	0.018	1.78	0.020	24
304-E-MO-188-DUAL		τος	0.188	0.025	0.71	0.032	20
304-E-MO-250-DUAL		Χάλυβας	0.250	0.036	0.45	0.040	18
INC-E-MO-062-DUAL	CHROME GA	Inconel	0.062	0.010	7.17	0.010	30

INC-E-MO-125-DUAL	®-	600	0.125	0.018	1.78	0.020	24
INC-E-MO-188-DUAL	Constantan		0.188	0.025	0.71	0.032	20
INC-E-MO-250-DUAL	E		0.250	0.036	0.45	0.040	18

OMEGA CLAD® Καλώδιο Θερμοηλεκτρικού ζεύγους - Μόνωση οξειδίων μαγνήσιου με τη θήκη μετάλλων. 304-(*) και INC-(*) Σειρά.

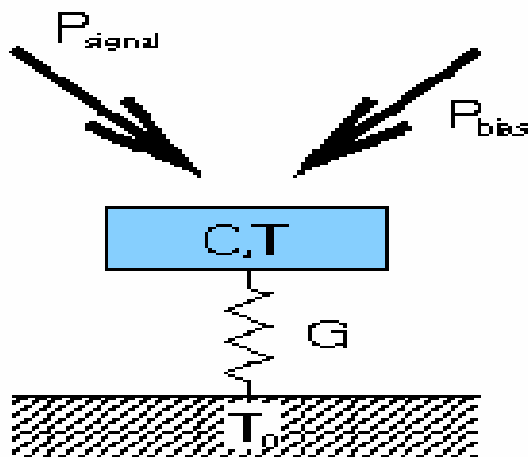


Το μέταλλο-τυλιγμένο καλώδιο του θερμοηλεκτρικού ζεύγους που περιέχει την αδρανή, μη-υαλοποιημένη μόνωση χρησιμοποιείται στην κατασκευή των ελέγχων θερμοηλεκτρικών ζευγών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καλώδιο επέκτασης. (5),(6),(7)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΟΛΟΜΕΤΕΡΣ

3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΒΟΛΟΜΕΤΕΡ

Το bolometer (ή θερμιδομετρητής) είναι ένας ανιχνευτής για την ακτινοβολία ή τα μόρια. Χρησιμοποιούμε bolometers για να ανιχνεύσουμε την υπέρυθρη ακτινοβολία και τα κύματα. Αυτοί οι ανιχνευτές λειτουργούν χαρακτηριστικά ως εξής: Ένας απορροφητής της ικανότητας θερμότητας C συνδέεται θερμικά με μια δεξαμενή θερμότητας στη θερμοκρασία T_0 από μια αδύνατη θερμική σύνδεση G . Ο απορροφητής βλέπει τη δύναμη του εισερχόμενου φωτός P_{signal} και μια ηλεκτρική δύναμη P_{bias} και ως εκ τούτου έχει μια θερμοκρασία $T = T_0 + (P_{\text{signal}} + P_{\text{bias}})/G > T_0$. Εάν η εισερχόμενη δύναμη P_{signal} αλλάξει και η P_{bias} μείνει σταθερή, η θερμοκρασία T θα αλλάξει. Ένα bolometer δουλεύει με τη μέτρηση αυτής της αλλαγής T με ένα θερμόμετρο που είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον απορροφητή. Δεδομένου ότι ένα θερμόμετρο συνήθως χρησιμοποιεί ένα υλικό που αλλάζει έντονα στην ειδική αντίσταση με τη θερμοκρασία είναι ενδιαφέρον. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου υλικού είναι νετρόνιο - μεταστοιχείωση Ge- κρύσταλλα (NTDs). Η αντίσταση R από ένα κρύσταλλο μετρείται με την τάση πόλωσης του θερμομέτρου με ένα σταθερό ρεύμα πόλωσης I και τη μέτρηση της αλλαγής στην τάση V . Η ηλεκτρική δύναμη είναι έπειτα $P_{\text{bias}} = IV = V^2/R = I^2R$.



Σχήμα 3.1 Λειτουργία του αισθητηρίου (bolometer)

Ο θερμικός χρόνος, η σταθερά του ανιχνευτή δίνεται από την αναλογία της ικανότητας θερμότητας και του θερμικού αγωγιμότητας: $t_0 = C/G$. (1)

Εφευρέθηκαν το 1860 από έναν αμερικανό επιστήμονα αποκαλούμενο Samuel Pierpont Langley. Τώρα πρώτιστα χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση της ενέργειας θερμότητας που διαβιβάζεται από τις απόμακρες πηγές. Μια εφαρμογή αυτού είναι στην αστρονομία για να μετρήσει τη θερμότητα των αστεριών.

Τα κβάντα του υπέρυθρου φωτός δεν είναι αρκετά ενεργητικά για να ανιχνευθούν φωτοηλεκτρικά. Έτσι μακριά στον υπέρυθρο η συνηθισμένη μέθοδος ανίχνευσης εξαρτάται από την επίδραση θέρμανσης της ακτινοβολίας σε μια απορροφούμενη επιφάνεια. Η επακόλουθη αλλαγή θερμοκρασίας μπορεί να ανιχνευθεί από μια αλλαγή της αντίστασης, του αισθητηρίου (bolometer).

Είναι ουσιαστικό να χρησιμοποιηθεί ένα ευαίσθητο στοιχείο με μια μικρή θερμική ικανότητα, καλά μονωμένο από το περιβάλλον του, έτσι ώστε η θερμοκρασία της να μπορεί να αποκριθεί εύλογα γρήγορα στη συναφή ακτινοβολία. Αυτό είναι όπου ο υπεραγωγός μπαίνει στην εξίσωση. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών υπεραγωγών, μια μικρή αλλαγή στην εξωτερική θερμοκρασία θα αλλάξει τον υπεραγωγό από την υπεραγωγική κατάσταση σε μία κανονική κατάσταση. Αυτό δίνει στο υπεραγωγικό bolometer ένα βασικό πλεονέκτημα πέρα από άλλες μορφές του οργάνου στο γεγονός ότι είναι πιο ευαίσθητο και έχει χαμηλή τάση θορύβου. Για να μετρήσει την αντίσταση του υπεραγωγικού θερμομέτρου έχει δύο επιλογές. Ο πρώτος με διαφορετική τιμή ρεύματος. Σε αυτόν τον τρόπο το θερμομέτρο είναι με ένα σταθερό ρεύμα πόλωσης I και η αντίσταση μετριέται με τη μέτρηση της τάσης. Η ηλεκτρική δύναμη στο bolometer θα είναι το ρεύμα squared times αντίσταση. Ο δεύτερος τρόπος είναι η τάση-πόλωση. Το θερμομέτρο είναι προκατειλημμένο με μια σταθερή τάση B και η αντίσταση μετριέται με τη μέτρηση του ρεύματος. Η ηλεκτρική ισχύς του bolometer θα είναι η τάση squared διαιρεμένη με την αντίσταση.

Η διαφορετική τιμή ρεύματος έχει το πλεονέκτημα ότι μια τάση μπορεί να ενισχυθεί σχετικά εύκολα. Εντούτοις, με την άφιξη SQUIDS μια επαρκής ενίσχυση και μια ανίχνευση ενός σήματος ρεύματος είναι δυνατή. Το μόνο μειονέκτημα του υπεραγωγικού bolometer είναι ότι λόγω της ευαισθησίας του είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί. (2)

Το bolometer είναι ένας ευπροσάρμοστος ανιχνευτής με ευαισθησία από τα κοντινά στα θερμικά υπέρυθρα μήκη κύματος. Στην καρδιά του συστήματος είναι ένα στοιχείο που αλλάζει την αντίσταση με τη συναφή ακτινοβολία, εντούτοις στα συστήματά μας η μετρημένη ποσότητα είναι η πτώση τάσης. Για να είναι σε θέση να μετρήσει τα μικροσκοπικά ποσά εισερχόμενης ενέργειας από τις αστροφυσικές πηγές, το στοιχείο περιβάλλεται από κενό και ψύχεται με το υγρό ήλιο.

Το ισχυρό σημείο του bolometer είναι η κάλυψη μήκους κύματος, παρά την ευαισθησία του, αλλά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εκείνο το γεγονός στο πλεονέκτημά μας. Η πρωινή παρατήρηση είναι δυνατή, ακόμη και στα κοντινά υπέρυθρα μήκη κύματος όταν το υπόβαθρο του ουρανού εξουσιάζεται από το διεσπαρμένο φως του ήλιου.

Κατωτέρω είναι μερικές προδιαγραφές bolometer των συστημάτων, η Minnesota / Wyoming, σύνολο φίλτρων και για το πως να καθοδηγήσει το bolometer στη λειτουργία.

To f10 Bolometer (Up#1)	
Θέση:	Λειτουργική
Στοιχείο:	Si: As
Λειτουργούσα θερμοκρασία:	1.6 K
Σύνολο φίλτρων:	J – Q23 & Alice
Ανοίγματα (mm):	1/3, 1/2, 2/3, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, & 3 x 1/3 σχισμή

To f/15 Bolometer (Up#3)	
Θέση:	Αναμονή της βαθμολόγησης
Στοιχείο:	Ge:Ga
Λειτουργούσα θερμοκρασία:	1.6 K
Σύνολο φίλτρων:	J – Q23 & Alice
Ανοίγματα (mm):	1/3, 1/2, 2/3, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, & 3 x 1/3 σχισμή

To f/45 Bolometer	
Θέση:	Κατά την προετοιμασία
Στοιχείο:	Ge:Ga
Λειτουργούσα θερμοκρασία:	1.6 K
Σύνολο φίλτρων:	J - Q23 & Alice
Ανοίγματα:	

Η Minnesota/Σύνολο φίλτρων Wyoming (Bolometer έκδοση)		
Φίλτρο	Μήκος κύματος (μm)	Bandpass (μm)
Υπέρυθρες παρατηρήσεις των κομητών, R.D. Gehrz, 1997 Int.Comet Quart., 19, 55		
Alice
J	1.2	0.2
H	1.6	0.3
K	2.3	0.7
L	3.6	1.2
M	4.9	0.7
N	10.0	5.8
N7	7.91	0.76
N8	8.81	0.87
N9	9.80	0.95
N10	10.27	1.00
N11	11.70	1.11
N12	12.49	1.16
Q	18	5
Q23	23	6

3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΒΟΛΟΜΕΤΕΡ

3.2.1 Ψύξη

1. Γεμίζουμε το εξωτερικό δοχείο με υγρό άζωτο (LN2), εν τω μεταξύ περιστρέφουμε τις ρόδες των φίλτρων και ανοιγμάτων για να τις αποτρέψουμε από το πάγωμα σε ισχύ.

Πρέπει να περιστρέψουμε τις ρόδες κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων ψύξης

2. Καμιά φορά το εξωτερικό δοχείο μπορεί να είναι πλήρες, γεμίζουμε το εσωτερικό δοχείο με LN2 χρησιμοποιώντας το σωλήνα τροφοδοσίας με σκοπό να ταιριάζει στον εσωτερικό λαιμό του δοχείου. Κρατάμε το σωλήνα από το κατώτατο σημείο με λαβίδα τύπου δαγκάνας κροκοδείλου και προσέχουμε για να μην τρυπήσουμε τους τοίχους των δοχείων.

3. Όταν το εσωτερικό δοχείο αρχίζει να κρατάει το LN2, μπορούμε να σταματήσουμε και να αδειάσουμε και τα δύο δοχεία από το περιεχόμενό τους. Αυτό είναι ένα σημαντικό βήμα όταν το υπόλοιπο LN2 θα παγώσει επάνω στην επαφή με το υγρό ήλιο (LHe).

4. Το φτιάχνουμε, το αφήνουμε να δακρύζει από κάτω. Τώρα που το βολο είναι κενό, γεμίζουμε το εξωτερικό δοχείο μέχρι επάνω με LN₂.

5. Με LHe ο σωλήνας μεταφοράς γεμίζει το εσωτερικό δοχείο με LHe.

6. Εξετάζουμε την αφθονία με ένα plunger. Εάν όλα είναι καλά, έχουμε ένα ψυχρό bolometer. Αυτό είναι ένας καλός χρόνος για να ελεγχθεί το φίλτρο και οι ρόδες ανοιγμάτων για να είναι στην κατάλληλη ευθυγράμμιση.

3.2.2 Σύνδεση

1. Αντλούμε τον αέρα έξω από το βολο μέχρι την κενή γραμμή και το γεμίζουμε με αέριο He.

2. Βγάζουμε το φακό από το βολο και το συνδέουμε με το τηλεσκόπιο. Ήπια, αλλά σταθερά, στερεώνουμε την κενή γραμμή γύρω από τον εσωτερικό λαιμό του δοχείου.

3. Συνδέουμε το preamp, τη γραμμή σημάτων, και το κιβώτιο μπαταριών. Το άνοιγμα του διακόπτη επισημαίνει έπειτα ότι είμαστε έτοιμοι να αντλήσουμε.

4. Επαναρυθμίζουμε το μετρητή αντλιών και ανοίγουμε αργά τη βαλβίδα αντλιών για να αρχίσει το βολο την άντληση.

5. Περιμένουμε. Χαρακτηριστικά αντλίας 160 L σε περίπου 2 ώρες.

3.2.3 Παρατήρηση

1. Ρυθμίζουμε το TCS στο κατάλληλο όργανο.

2. Συνδέουμε το καλώδιο ροδών φίλτρων (M1) (η ρόδα ανοιγμάτων είναι M2 εάν τη χρειαζόμαστε) και ελέγχουμε το TCS και αν οι βολο θέσεις φίλτρων συμφωνούν.

3. Ελέγχουμε τα τρία σημαντικά καλώδια και τη μια σημαντική ρύθμιση στην κλειδαριά-μέσα στον ενισχυτή (LIA): το βολο σήμα συνδέεται με την εισαγωγή A μπροστά, η παραγωγή συνδέεται με X1 πίσω, η αναφορά κιβωτίων συνδέεται με την εισαγωγή αναφοράς, και η χρονική σταθερά πρέπει να τεθεί στα 300 ms.

4. Συνδέουμε το όργανο καταγραφής διαγραμμάτων λουρίδων. Τύπος + LOCAL για να στείλει την παραγωγή από το TCS στο όργανο καταγραφής διαγραμμάτων λουρίδων.

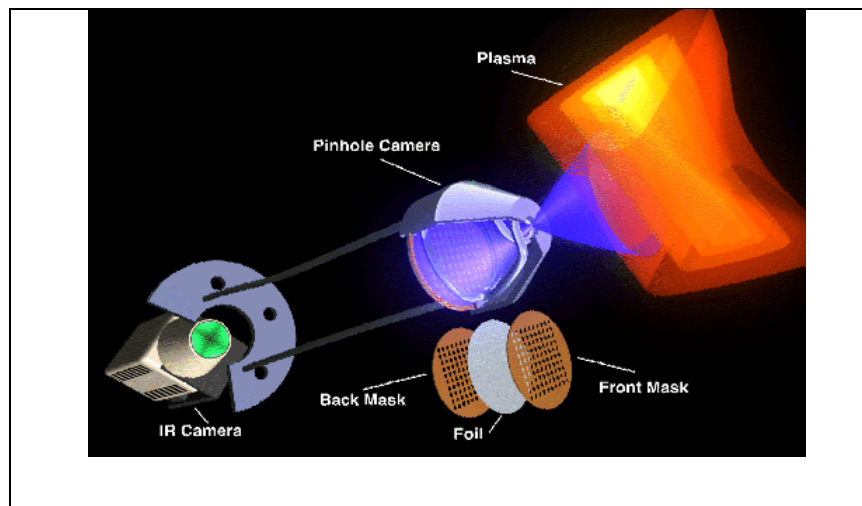
5. Κλείνουμε τον προενισχυτή, βάζουμε μετά την δύναμη και αντικαθιστούμε γρήγορα το παλιό κιβώτιο μπαταριών με ένα καινούργιο. Ανοίγουμε το διακόπτη κατόπιν. Τώρα είμαστε έτοιμοι να παρατηρήσουμε.

3.2.4 Αφαίρεση

1. Σημειώνουμε πόσα λίτρα He αντλήθηκαν και πόσο κουρασμένοι είμαστε μετά από μια πλήρη νυκτερινή εργασία ανάλογα με τις ιδιοτροπίες του πειράματος.

2. Σταματάμε την άντληση και γεμίζουμε την κενή γραμμή με αέριο He.

3. Σβήνουμε τον προενισχυτή, ανοίγουμε έπειτα το διακόπτη. Αφαιρούμε το κιβώτιο μπαταριών και τον προενισχυτή.
4. Αφαιρούμε το βολο από το τηλεσκόπιο, κατόπιν αφαιρούμε την κενή γραμμή και την καλύπτουμε με ένα δάχτυλο.
5. Παρεμβάλουμε όλο τα plungers, ένα -ένα, στο εσωτερικό δοχείο για να βγάλουμε το LHe έξω για να αποτρέψουμε τα βουλώματα πάγου.
6. Αδειάζουμε τα εξωτερικά και εσωτερικά δοχεία. Το εσωτερικό δοχείο μπορεί να εκκενώνεται κρατώντας το σκεύος ανάποδα και συνδέοντας το άνοιγμα με ένα λάστιχο για να αφήσει κάποια πίεση να συγκεντρωθεί. Αφαιρούμε το βούλωμα και εκτονώνουμε την πίεση. Το επαναλαμβάνουμε μέχρις ότου το εσωτερικό δοχείο βγάλει έξω τα αέρια με μια τέτοια βίαια δύναμη.
7. Αμέσως βάζουμε το βολο μέσα και το καταδύουμε μέχρις ότου όλο το LHe να αφαιρεθεί. Αντικαθιστούμε το λαστιχένιο πόμα, rabbit ear, και τον εσωτερικό ιστό του λαιμού του δοχείου.
8. Είμαστε τώρα έτοιμοι να αφήσουμε το Bolometer να προθερμανθεί ή να ψυχθεί πάλι.(3)



Σχήμα 3.3 Εφαρμογή ενός bolometer σε μέτρηση θερμοκρασίας

3.3 ΠΡΟΤΥΠΙΑ ΒΟΛΟΜΕΤΕΡ

Samuel Pierpont Langley.

Αποτελείται από έναν "απορροφητή" που συνδέεται με μία δεξαμενή θερμότητας (τομέας της σταθερής θερμοκρασίας) μέσω μιας μόνωσης σύνδεσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι οποιαδήποτε ακτινοβολία που απορροφάται από τον απορροφητή αυξάνει τη θερμοκρασία της επάνω από αυτήν την δεξαμενή θερμότητας —όσο υψηλότερη η ενέργεια που απορροφάται, τόσο υψηλότερη θα είναι η θερμοκρασία

Ένα θερμόμετρο κάποιου είδους, συνδεδεμένο με τον απορροφητή, χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη θερμοκρασία, από την οποία η απορροφημένη ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί. Σε μερικά σχέδια το θερμόμετρο είναι επίσης ο απορροφητής, σε άλλα ο απορροφητής και το θερμόμετρο είναι χωριστοί, αυτό είναι γνωστό ως "σύνθετο σχέδιο".

Ενώ τα bolometers μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν την ενέργεια ακτινοβολίας οποιασδήποτε συχνότητας, για τις περισσότερες σειρές μήκους κύματος υπάρχουν άλλες μέθοδοι ανίχνευσης που είναι πιο ευαίσθητες. Εντούτοις, για μήκη κύματος υπο-χιλιοστόμετρου (γύρω από 200 μm έως 1 mm μήκος κύματος), το bolometer είναι ο πιο ευαίσθητος τύπος ανιχνευτή για οποιαδήποτε μέτρηση πέρα από μια περισσότερο στενή σειρά μήκους κύματος.

Τα Bolometers επομένως χρησιμοποιούνται για την αστρονομία σε αυτά τα μήκη κύματος. Εντούτοις, για να επιτύχουν την καλύτερη ευαισθησία, πρέπει να ψυχθούν κάτω από ένα μέρος ενός βαθμού του απόλυτου μηδέν (χαρακτηριστικά από 50 millikelvins έως 300 mK) αυτό κάνει τη λειτουργία τους τεχνικά κάπως προκλητική.

Ο όρος bolometer χρησιμοποιείται επίσης στην υψηλής ενέργειας φυσική (φυσική μορίων) για να υποδείξει έναν μη συμβατικό ανιχνευτή μορίων. Χρησιμοποιούν την ίδια αρχή που περιγράφεται ανωτέρω. Τα Bolometers είναι ευαίσθητα όχι μόνο στο φως αλλά σε κάθε μορφή ενέργειας.

Οι συμβατικότεροι ανιχνευτές μορίων είναι συχνά ευαίσθητοι στην επίδραση ιονισμού των μορίων. Τα Bolometer είναι άμεσα ευαίσθητα στην ενέργεια που αφήνεται μέσα στον απορροφητή. Για αυτόν τον λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για τα μόρια και τα φωτόνια, αλλά και για τα μη ιονίζοντα μόρια, για οποιοδήποτε είδος ακτινοβολίας και ακόμη και στην αναζήτηση των άγνωστων μορφών μάζας ή ενέργειας (όπως δύστροπα υλικά) αυτή η έλλειψη διάκρισης μπορεί επίσης να είναι μια ανεπάρκεια. Είναι πολύ αργοί να αποκριθούν και να επιβραδύνουν στην αναστοιχειοθέτηση (δηλ., επιστροφή στη θερμική ισορροπία με το περιβάλλον). Αφ' ετέρου, έναντι των συμβατικότερων ανιχνευτών μορίων, είναι εξαιρετικά αποδοτικοί στην ενεργειακή ανάλυση και στην ευαισθησία. Μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για να εξετάσουν την πολύ υψηλή radio-purity. Είναι επίσης γνωστοί ως θερμικοί ανιχνευτές.

Η λειτουργούσα αρχή είναι παρόμοια με αυτήν του θερμιδομετρητή στην θερμοδυναμική. Εντούτοις, οι προσεγγίσεις, η υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία, και ο διαφορετικός σκοπός της συσκευής κάνουν τη λειτουργική χρήση μάλλον διαφορετική. Στην επαγγελματική γλώσσα της υψηλής ενεργειακής φυσικής, αυτές οι συσκευές δεν καλούνται θερμιδομετρητές δεδομένου ότι αυτός ο όρος χρησιμοποιείται ήδη για έναν διαφορετικό τύπο ανιχνευτή. Η χρήση τους ως ανιχνευτές μορίων είναι ακόμα στο αναπτυξιακό στάδιο. Η χρήση τους ως ανιχνευτές μορίων προτάθηκε κανονικά πρώτα από την αρχή του 20ού αιώνα, αλλά αν και καινοτομώντας, η χρήση ήταν μόνο τη δεκαετία του 1980 λόγω της δυσκολίας που συνδέεται με την κατοχή ενός συστήματος κρυογόνου θερμοκρασίας.

Langley's bolometer

Το πρώτο bolometer χρησιμοποιημένο για τα υπέρυθρα observations από τον Langley είχε ένα πολύ βασικό σχέδιο: Αποτελούνταν από δύο λουρίδες λευκόχρυσου, καλυμμένες με lampblack, μια λουρίδα προστατεύθηκε από την ακτινοβολία και η άλλη εκτέθηκε. Οι λουρίδες διαμόρφωσαν δύο κλάδους της γέφυρας wheatstone που εγκαταστάθηκε με ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο και συνδέθηκε με μια μπαταρία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αφορά την εκτεθειμένη λουρίδα θα το θέρμαινε, και θα άλλαζε την αντίστασή της, το κύκλωμα έτσι αποτελεσματικά θα λειτουργούσε ως ανιχνευτής θερμοκρασίας αντίστασης. Αυτό το όργανο του επέτρεψε να αισθανθεί τον τρόπο της θερμότητας πέρα από ολόκληρο το φάσμα, σημείωση όλων των κύριων γραμμών Fraunhofer και ζωνών, οι οποίες παρουσιάστηκαν από αιχμηρές οδοντώσεις, ή περισσότερες παρατεταμένες καταθλίψεις της καμπύλης που έδωσε τις εκπομπές, και ανακάλυψε τις γραμμές και τις ζώνες του αόρατου INFRA – κόκκινη περιοχή.

3.4. MICROBOLOMETERS

Το microbolometer είναι ένας συγκεκριμένος τύπος bolometer που χρησιμοποιείται ως ανιχνευτής σε μία θερμική κάμερα. Είναι ένα πλέγμα οξειδίου βαναδίου ή άμορφων αισθητήρων θερμότητας πυριτίου επάνω σε ένα αντίστοιχο πλέγμα πυριτίου. Υπέρυθρη ακτινοβολία από μια συγκεκριμένη σειρά μηκών κύματος χτυπάει το οξείδιο βαναδίου και αλλάζει την ηλεκτρική του αντίσταση. Αυτή η αλλαγή αντίστασης μετρείται και υποβάλλεται σε επεξεργασία στις θερμοκρασίες που μπορούν να αντιπροσωπευθούν γραφικά. Το πλέγμα microbolometer βρίσκεται συνήθως σε δύο μεγέθη, ένα 320×240 σειρά ή λιγότερο ακριβή

160×120 σειρά. Και οι δύο σειρές παρέχουν στο ίδιο αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη σειρά που παρέχει έναν ευρύτερο οπτικό πεδίο. Μεγαλύτερη, 640×480 σειρά αναγγέλθηκε το 2005.

Πλεονεκτήματα

Το microbolometer είναι ένας μη ψυχόμενος θερμικός αισθητήρας. Οι προηγούμενοι θερμικοί αισθητήρες υψηλής ανάλυσης απαιτούσαν εξωτικές και ακριβές μεθόδους ψύξης συμπεριλαμβανομένου τα Δοχεία ψύξης, κύκλων Stirling και δοχεία ψύξη υγρού αζώτου. Αυτές οι μέθοδοι κάνουν πρόωρα τα θερμικά στοιχεία ακριβά να λειτουργήσουν και αδέξια για να κινηθούν. Επίσης, παλαιότερα τα θερμικά στοιχεία απαιτούσαν έναν ψυχρό χρόνο παραπάνω από 10 λεπτά πριν γίνουν χρησιμοποιήσιμα.

- Συλλέγουν το φως από 8 μm έως 12 μm στη φασματική ζώνη. Αυτή η φασματική ζώνη του παρέχει μια καλύτερη διείσδυση μέσω του καπνού, αιθαλομίχλη, σκόνη, υδρατμών κ.λπ. επειδή το μήκος κύματος είναι πολύ περισσότερο από 3 μm έως 5 μm στη φασματική ζώνη.
- Είναι μικροί και ελαφριοί. Για τις εφαρμογές τους απαιτούν σχετικά σύντομες σειρές, οι φυσικές διαστάσεις της φωτογραφικής μηχανής είναι ακόμα μικρότερες. Αυτή η δραστηριότητα επιτρέπει, για παράδειγμα, το μοντάρισμα του μη ψυχόμενου microbolometer θερμικών στοιχείων καλύπτρας.
- Παρέχουν την πραγματική τηλεοπτική παραγωγή αμέσως μετά την έναρξη.
- Μικρή κατανάλωση ισχύος σχετικά για να κρυώσει ο ανιχνευτής θερμικών στοιχείων.
- Πολύ μεγάλο MTBF.
- Λιγότερο ακριβά έναντι των φωτογραφικών μηχανών.

Μειονεκτήματα

- Λιγότερο ευαίσθητα από τα ψυχόμενα θερμικά στοιχεία των ανιχνευτών.
- Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολυφασματικό ή σε μεγάλες υπέρυθρες εφαρμογές.

Όρια απόδοσης

Η ευαισθησία περιορίζεται εν μέρει από την θερμική αγωγιμότητα του εικονοκυττάρου. Η ταχύτητα περιορίζεται από το θερμικό, την ικανότητα θερμότητας που διαιρείται με τη θερμική αγωγιμότητα. Η μείωση της ικανότητας θερμότητας αυξάνει την ταχύτητα αλλά και αυξάνει τις στατιστικές μηχανικές θερμικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (θόρυβος). Η αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας αυξάνει την ταχύτητα, αλλά μειώνει την ευαισθησία.

Προέλευση

Η τεχνολογία του microbolometer αναπτύχθηκε αρχικά από τον Honeywell στη μέση της δεκαετίας του '80 σαν ταξινομημένη σύμβαση για το Αμερικανικό υπουργείο άμυνας. Η

αμερικανική κυβέρνηση υποταξινόμησε την τεχνολογία το 1992. Μετά από τον αποχαρακτηρισμό Honeywell χορήγησε άδεια για την τεχνολογία τους σε διάφορους κατασκευαστές.



3.5.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΒΟΛΟΜΕΤΕΡΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ.

3.5.1. Εισαγωγή

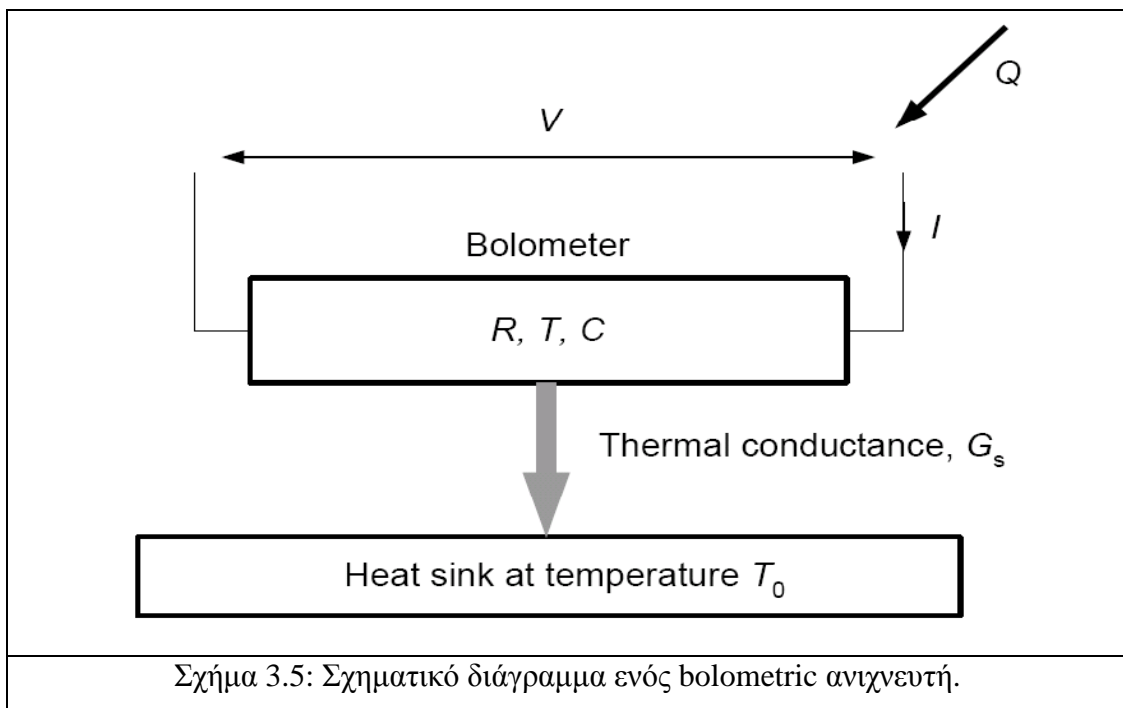
Στη σύγχρονη αστρονομία, τα bolometers είναι η καλύτερη επιλογή ανιχνευτή για την ακτινοβολία στα μήκη κύματος μεταξύ 200 μm και 3 mm. Στα μικρότερα μήκη κύματος, η ανίχνευση της ακτινοβολίας είναι δυνατή από την άμεση διέγερση των μεταφορέων δαπανών, ενώ στα μαγαλύτερα μήκη κύματος, τα συστήματα ετερόδυνων κερδίζουν έξω πέρα από τους bolometric ανιχνευτές. Ένα bolometeris ουσιαστικά ένα θερμόμετρο -είναι η ενέργεια ενός εισερχόμενου φωτονίου που απελευθερώνεται σε ένα απορροφώντας υλικό, και η επακόλουθη άνοδος θερμοκρασίας μετριέται ως αλλαγή στην τάση ή στο ρεύμα στο κύκλωμα ανάγνωσης. Οι σύγχρονοι ημιαγωγοί bolometers, όπως η συσκευή που παρουσιάζεται στο σχήμα 1 από το όργανο ΣΚΑΦΑΝΔΡΩΝ, είναι μια σύνθετη κατασκευή στο οποίο ο απορροφητής και το thermistor είναι seperated, επιτρέποντας στα δύο στοιχεία για να βελτιστοποιηθεί independantly. Ο Holland τελικά παρέχει μια καλή επισκόπηση συμπεριφοράς και χρήσης του bolometer

Προκειμένου να γίνει κατανοητό πώς ένα bolometer αποκρίνεται στην απορροφημένη ακτινοβολία, πρέπει να είμαστε σε θέση να διαμορφώσουμε τη θερμική συμπεριφορά του ανιχνευτή, συγκεκριμένα πώς οι ηλεκτρικές ιδιότητες του ανιχνευτή αλλάζουν με τη θερμοκρασία και την απορροφημένη δύναμη. Αυτό στοχεύει να παρέχει μια εισαγωγή στις αρχές του bolometer, χαρακτηρισμός με την περιγραφή ενός προτύπου για ιδανικό bolometer, και πώς μπορούμε να εγκαταστήσουμε εκείνο το πρότυπο στα πειραματικά στοιχεία για να καταλάβουμε τι συσκευή μετράμε.



3.5.2 Bolometer Θερμικό πρότυπο

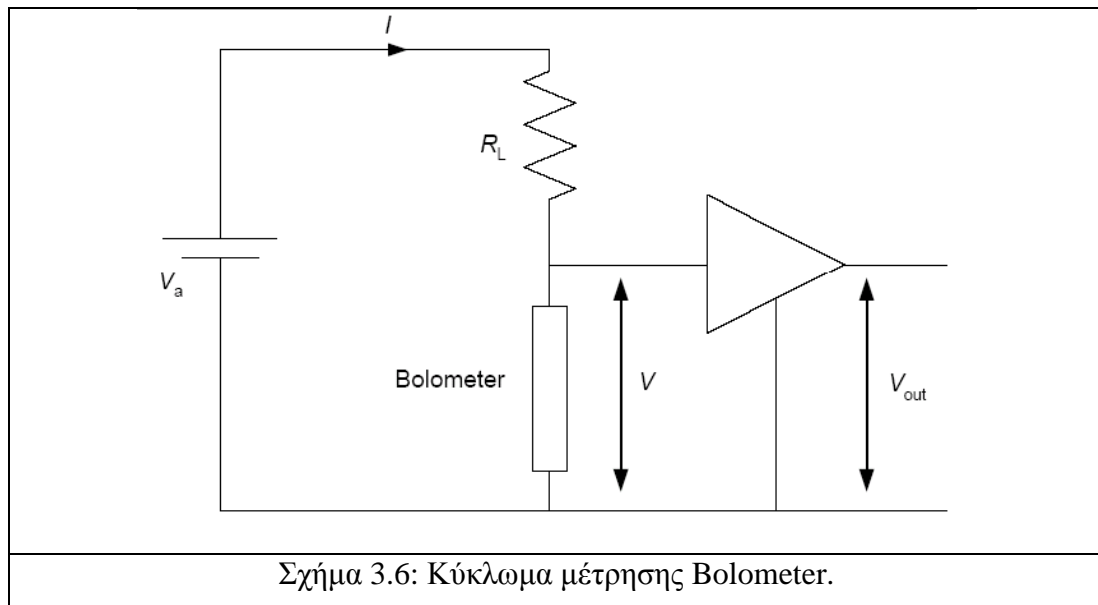
Το Σχήμα 3.2 παρουσιάζει μια σχηματική αναπαράσταση ενός απλού προτύπου bolometer. Ανεξάρτητα από τη γεωμετρία της συσκευής, όλοι αυτοί οι ανιχνευτές μπορούν να περιγραφούν κατ' αυτό τον τρόπο. Ένα pixel του bolometer αποτελείται από ένα absorber που συνδέεται με μια θερμική αντίσταση της αντίστασης R και σε μια θερμοκρασία T . Το Bolometer συνδέεται αδύναμα με μια δεξαμενή θερμότητας σε μια θερμοκρασία T_0 , όπου T, T_0 . Γενικά, T_0 αναφέρεται ως κύρια θερμοκρασία, από τότε όταν κάνουμε τις μετρήσεις αυτή η θερμοκρασία αντιστοιχεί στο κρύο στάδιο του ψυγείου που χρησιμοποιούμε. Στην πρακτική θα υπάρξει μια μικρή θερμική κλίση μεταξύ αυτό που μετράμε όπως T_0 και η πραγματική θερμοκρασία της δεξαμενής θερμότητας, αλλά αυτό θα είναι πάρα πολύ μικρό για να ενδιαφερθεί. Η θερμοκρασία απορροφητών, T , προσφέρεται σαν η θερμοκρασία του bolometer. Η θερμικής σύνδεση μεταξύ bolometer και δεξαμενής θερμότητας είναι του μήκους L και της στατικής θερμικής αγωγιμότητας G_s . Το bolometer θα έχει μια ικανότητα θερμότητας $C(T)$ (υποτίθεται ότι η θερμική σύνδεση έχει μηδενική ικανότητα θερμότητας).



Η συσκευή διαβάζεται με τη μέτρηση της πτώσης τάσης πέρα από το bolometer. Προκειμένου να γίνει αυτό, ένα πολικό ρεύμα, I , πρέπει να περαστεί μέσω του thermistor, παραγωγή μιας τάσης $V = IR$ από αυτό. Το σχήμα 3 δείχνει μια χαρακτηριστική ηλεκτρική μέτρηση του bolometer κυκλώματος, με μια πηγή τάσης V_a παρέχοντας ρεύμα bias στο bolometer, συμβατικά στη σειρά με μια αντίσταση φορτίων, RL . Η τάση πέρα από το bolometer μετριέται μέσω μιας χαμηλής τάσης θορύβου στον ενισχυτή (γενικά, αυτό θα είναι μια κρυογόνος συσκευή για να ελαχιστοποιήσει το θερμικό θόρυβο στο κύκλωμα). Αυτό το πρότυπο που περιγράφεται εδώ είναι το ιδανικό bolometer. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι το bolometer δεν εκθέτει αυτό που είναι γνωστό ως μη-ωμικά "αποτελέσματα". Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας επίδρασης είναι η ηλεκτροφωνική αποσύζευξη, στην οποία υπάρχει μια πεπερασμένη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτρονίων και φωτονίων στη θερμική αντίσταση. Αν και αυτή η επίδραση δεν γίνεται κατανοητή πλήρως αυτή τη στιγμή, μπορεί να περιληφθεί στο πρότυπό μας με το να μεταχειριστεί τα δύο ως separate φυσικά συστατικά με μια θερμική αγωγιμότητα που ποικίλλει ως χαμηλή δύναμη με τη θερμοκρασία. Το έγγραφο από το Grannan τελικά περιγράφει ένα ιδανικό πρότυπο bolometer που λαμβάνει αυτά τα αποτελέσματα, και άλλων, υπόψη. Το πρότυπό μας κάνει επίσης την υπόθεση ότι αυτή η δύναμη διαλύεται στο bolometer από το πολικό ρεύμα και έχει την ίδια επίδραση σαν δύναμη διαλυμένη από την απορροφημένη ακτινοβολία. Αυτό μπορεί να είναι αλήθεια γενικά, εκτός αν η ηλεκτροφωνική αποσύζευξη είναι παρούσα (δεδομένου ότι η ηλεκτρική δύναμη

θερμαίνει τα ηλεκτρόνια στη θερμική αντίσταση, ενώ η οπτική δύναμη θερμαίνει το δικτυωτό πλέγμα).

Ο στόχος μας σε αυτό το πρότυπο είναι να είναι σε θέση να αναπαραγάγει την τάση-ρεύμα (γνωστό ως καμπύλη φορτίων). Για να κάνουμε αυτό, χρειαζόμαστε τις εκφράσεις για την αντίσταση του στοιχείου θερμικών αντιστάσεων, και τη δύναμη dissipated στο bolometer. Και οι δύο είναι λειτουργίες του bolometer και σκηνικές θερμοκρασίες.



Η συνολική δύναμη dissipated στο bolometer, W , είναι

$$W = P + Q \quad (1)$$

όπου Q είναι η απορροφημένη οπτική δύναμη και $P = IV$ είναι η ηλεκτρική δύναμη λόγω της πόλωσης στο κύκλωμα. Η εξίσωση ενεργειακής ισορροπίας για το bolometer είναι:

$$W = G_s(T - T_0) \quad (2)$$

Μερικά πρότυπα της ιδανικής συμπεριφοράς bolometer, όπως αυτό των Griffin & Holland, υποθέτει ότι η παραλλαγή της αγωγιμότητας από τη θερμική σύνδεση με τη θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί ως νόμος δύναμης στη μορφή:

$$G_s(T, T_0) = G_{s0} (T/T_0)^\beta \quad (3)$$

όπου G_{s0} είναι η θερμική αγωγιμότητα στη θερμοκρασία $T = T_0$. Γενικά, αυτή η έκφραση δεν είναι πραγματικά αληθινή. Αντί αυτού, θα κάνουμε ρεαλιστικότερη υπόθεση ότι είναι η παραλλαγή της θερμικής αγωγιμότητας, k , από τη σύνδεση με τη θερμοκρασία, αυτός εκφράζεται ως νόμος δύναμης:

$$k(T) = k_0(T/T_0)^\beta \quad (4)$$

όπου $k_0 = k(T_0)$. Με την έκφραση της θερμικής αγωγιμότητας όπως $k(T)$, θα πάρουμε την παραλλαγή της θερμικής αγωγιμότητας με τη θερμοκρασία πέρα από τη σύνδεση στον απολογισμό, κάτι που δεν λαμβάνεται υπόψη σε μερικά πρότυπα. Αυτή η υπόθεση είναι σύμφωνη με τη μη ισορροπία του bolometer, θεωρία Mather, και είναι αυτή που χρησιμοποιείται πρόσφατα από το Sudiwala.

$$W = \int_{T_0}^T k(t) dt / \int_0^L 1/A(x) dx \quad (5)$$

όπου $A(x)$ είναι ο διατομικός τομέας της θερμικής σύνδεσης στη θέση x . Χωρίς την απώλεια γενικότητας, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το διαγώνιο τμήμα είναι σταθερό, $A(x) = A$. Η ολοκλήρωση της εξίσωσης (5) έπειτα δίνει:

$$W = [A k_0 T_0 / L(\beta+1)] * [\varphi^{\beta+1} - 1] \quad (6)$$

όπου χρησιμοποιούμε $\dot{A} = T = T_0$. Από τις εξισώσεις (2) και (6), έχουμε:

$$G_s(\Phi) = A k_0 / L(\beta+1) * [\Phi^{\beta+1} - 1] / (\Phi - 1) = [G_{s0} / (\beta+1)] * [\Phi^{\beta+1} - 1] / (\Phi - 1) \quad (7)$$

$$G_s(\varphi) = A k_0 / L(\beta+1)$$

όπου $G_{s0} = k_0(A=L)$. Τελικά, αντικατάσταση της εξίσωσης (7) στην εξίσωση (2), και υπενθυμίζοντας την εξίσωση (1), λαμβάνουμε:

$$P(\Phi) = G_{s0} T_0 / (\beta+1) * [\Phi^{\beta+1} - 1] - Q \quad (8)$$

Η άλλη παράμετρος που απαιτείται για να διαμορφώσει την τάση –ρεύμα, χαρακτηριστικά του bolometer είναι η παραλλαγή της αντίστασης θερμικών αντιστάσεων με τη θερμοκρασία, $R(T)$. Για να είμαστε εντελώς γενικοί, αυτό πρέπει να γραφτεί $R(T, V)$ δεδομένου ότι η αντίσταση μιας συσκευής ποικίλλει και με την εφαρμοσμένη τάση και με τη θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση ηλεκτρικών πεδίων είναι ένα περαιτέρω παράδειγμα της μη-ωμικής συμπεριφοράς που συζητήθηκε προηγουμένως. Πάλι, είναι δυνατό να περιληφθούν αυτά τα αποτελέσματα στο πρότυπο, αλλά είναι γενικά λογικό στο exclude αυτοί χωρίς συμβιβασμό της ισχύος του προτύπου. Πίσω στο πρότυπό μας, και παραγωγή αυτής της υπόθεσης, η αντίσταση της συσκευής επομένως εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία:

$$R(T) = R * \exp[(Tg/T)^\eta] \quad (9)$$

T_g και n είναι υλικές παράμετροι, και R^α είναι μια χαρακτηριστική αντίσταση όπου εξαρτάται και από το υλικό και από τη γεωμετρία των συσκευών. Είμαστε τώρα ικανοί να παραγάγουμε την τάση – ρεύμα χαρακτηριστικό ενός ιδανικού bolometer από την αύξηση της T σε T_0 σε κάποια υψηλότερη θερμοκρασία στις εξισώσεις (8) και (9). Η ηλεκτρική δύναμη, P και η αντίσταση, $R(T)$ μπορεί να καθοριστεί για ένα δεδομένο σύνολο τιμών β , G_s0 , R^α , T_g , n και ακτινοβόλος δύναμη Q . Από αυτό, η τάση, V , και ρεύμα, I , δίνουν:

$$V=[PR(T)]^{1/2} \quad (10)$$

$$I=[P/R(T)]^{1/2} \quad (11)$$

Το πρότυπο μπορεί να επεκταθεί για να περιλάβει τη δυναμική θερμική συμπεριφορά της συσκευής, όπου επιτρέπει άλλα χαρακτηριστικά του bolometer όπως η ευαισθησία και ο σταθερός θερμικός χρόνος να καθοριστούν. Η δυναμική συμπεριφορά των συσκευών είναι αρκετά πιο σύνθετη και υπερβαίνει το πεδίο αυτού του σεμιναρίου, έτσι θα αφήσουμε το πρότυπο σε αυτό το σημείο. Το πρότυπο περιγράφεται πλήρως αλλού, από τον Sudiwala.

3.5.3 Bolometer Χαρακτηρισμός

Στο τμήμα 2, έχουμε δει ότι τα χαρακτηριστικά καμπύλων φορτίων του bolometer μπορούν σε γενικές γραμμές να περιγραφούν από το σύνολο παραμέτρου β , n , T_g , R^α και G_s0 , για μια δεδομένη θερμοκρασία λουτρών, T_0 . Για να εφαρμοστεί αυτό το πρότυπο σε μια πραγματική συσκευή, πρέπει να είμαστε σε θέση να καθορίσουμε τις τιμές αυτών των παραμέτρων από το πείραμα - η διαδικασία από το χαρακτηρισμό. Όπως πραγματοποιήθηκε αυτός ο χαρακτηρισμός θα μπορούσε να αποτελέσει (και ήταν σχεδόν) το αντικείμενο ενός σεμιναρίου όπως ήταν σε αυτό. Για καθέναν ενδιαφερόμενο στο πώς ο χαρακτηρισμός του bolometer πραγματοποιείται πραγματικά, υπάρχει μια καλή περιγραφή της δοκιμής του bolometer στις εγκαταστάσεις σε έγγραφο από τον Woodcraft. Σε αυτό το τμήμα, θα εξετάσουμε πώς εφαρμόζουμε το πρότυπο που περιγράφεται στην παράγραφο 2 στα πειραματικά στοιχεία.

Προτού να πάμε περαιτέρω, αξίζει κάποια αναφορά για τις τιμές των παραμέτρων που συζητάμε. Οι παράμετροι n , T_g και R^α εξαρτώνται από το υλικό που χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί το στοιχείο θερμικών αντιστάσεων bolometer. Οι σύγχρονες συσκευές χρησιμοποιούν συνήθως το υλικό νετρόνιο-μεταστοιχείωση-αδρανές γερμάνιο: γάλλιο (γενικά γνωστό ως NTD-Ge για προφανείς λόγους). Έχει διαπιστωθεί ότι η τιμή $n = 0.5$ είναι η κατάλληλη στην παραλλαγή αντίσταση-θερμοκρασίας, πέρα από τις σειρές θερμοκρασίας ενδιαφερόμαστε γενικά για αυτήν την εφαρμογή. Χαρακτηριστικά, $T_g \approx 15K$ και $R^\alpha \approx 100$ για κάθε στοιχείο θερμικών αντιστάσεων. Η τιμή του β εξαρτάται από τη φυσική κατασκευή

των bolometers. Ιδανικά, $\beta = 1$ για μια μεταλλική θερμική σύνδεση και $\beta = 3$ για μια κρυστάλλινη διηλεκτρική σύνδεση. Τα πραγματικά bolometers μπορούν να έχουν ένα μίγμα υλικών με τις διαφορετικές ιδιότητες και να εκθέσουν τις τιμές β ανάμεσα σε αυτά τα άκρα.

Ο προσδιορισμός των πρότυπων παραμέτρων απαιτείται για να ελέγξει ακριβώς το ποσό της δύναμης στο bolometer, και στο separate η απάντηση συσκευών στην απορροφημένη ακτινοβολία από αυτήν την bias δύναμη.

Υπάρχουν δύο κύρια σύνολα μετρήσεων καμπύλων φορτίων που πρέπει να κάνουμε προκειμένου να χαρακτηριστεί bolometer μας:

1. Καμπύλες φορτίων Blanked, ρεύμα τάσης χαρακτηριστικό του bolometer μετρημένο για ποικίλες θερμοκρασίες λουτρών, T_0 , εξασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχει καμία φόρτωση δύναμης στο bolometer λόγω της εξωτερικής ακτινοβολίας.

2. Μη - καμπύλες φορτίων, για το οποίο οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται στις διάφορες (αλλά όχι απαραίτητα το ίδιο πράγμα) θερμοκρασίες λουτρών βλέποντας ένα ελεγχόμενο ποσό εξωτερικής ακτινοβολίας. Η συναφής δύναμη θα προβλεπόταν από μια μαύρη πηγή σωμάτων σε μία γνωστή θερμοκρασία και ένα κατάλληλο σύστημα φίλτρων για να περιορίσει την ακτινοβολία στην επιθυμητή ζώνη περασμάτων και την αντιπροσωπευτική ένταση.

Στην ακόλουθη συζήτηση για το πώς χρησιμοποιούμε τα στοιχεία καμπύλων φορτίων, θα περιοριστούμε πρώτιστα στην εκτίμηση των καμπύλων φορτίων. Πρέπει να είναι σαφές στις λίγες περιπτώσεις όταν αυτό δεν είναι η περίπτωση.

Οι αρχές που περιγράφονται μπορούν απευθείας να επεκτείνονται σε μη εφαρμόσιμα στοιχεία, αν και η συναφής δύναμη περιπλέκει το ζήτημα.

3.5.4 Πρότυπη συναρμολόγηση σε μια ενιαία καμπύλη φορτίων.

Με την πρώτη ματιά, μπορεί να φανεί ότι μπορούμε να αποφασίσουμε όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για να χαρακτηρίσουμε το bolometer μας από μια ενιαία καμπύλη φορτίων. Εντούτοις, μπορούμε να δούμε ότι, στην πραγματικότητα, αυτό δεν είναι η καλύτερη περίπτωση. Ένας πιθανός τρόπος με τον οποίο μπορούμε να συγκρίνουμε το πρότυπό μας με τα πειραματικά στοιχεία είναι να εκφραστεί η μετρημένη καμπύλη φορτίων R σε σχέση με το P . Εάν υποθέσουμε ότι $n = 0.5$, κατόπιν από τις εξισώσεις (8) και (9) έχουμε:

$$\ln[-R \frac{dP}{d\tau}] = -(2\beta+3)\ln[\ln[R/R^*]] + \ln[2GsoTg^{(\beta+1)}/To^{\beta}] \quad (12)$$

Για τους σκοπούς αυτής της άσκησης, θα υποθέσουμε ότι ξέρουμε το διάστημα της θερμοκρασίας, T_0 , με ικανοποιητική ακρίβεια (αυτό είναι απίθανο να συμβεί). Η εξίσωση

(12) είναι γραμμική $\ln[\ln(R/R^\alpha)]$, με κλίση $-(2\beta+3)$ και intercept $\ln[2GsoTq^{(\beta+1)}/To^\beta]$, αλλά μόνο για τη σωστή τιμή R^α . Μια γραφική παράσταση $\hat{A}2$ σε σχέση με το R^α θα μας επέτρεπε να καθορίσουμε τα R^α και β . Αυτό είναι διευκρινισμένο στο σχήμα 4 για μια συνθετική καμπύλη φορτίων που παράγεται από ένα σύνολο παραμέτρου ονομαστικών τιμών, από το ιδιαίτερο relevance που είναι $R^\alpha = 100 \Omega$.

Το παράγωγο καθορίστηκε αριθμητικά από τα συνθετικά στοιχεία από τη διαφοροποίηση μιας λειτουργίας παρεμβολής R με P καμπύλη, όπως θα γινόταν για τα πραγματικά στοιχεία. Η βέλτιστη ανακτημένη τιμή για R^α βρίσκεται από το ελάχιστο $\hat{A}2 - R^\alpha$ καμπύλη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4 α. Η ανακτημένη τιμή από αυτήν την καμπύλη είναι 100Ω , όπως θα αναμέναμε. Αντικατάσταση αυτής της τιμής R^α στην εξίσωση (12) επιτρέπει σε μας να κάνουμε έναν γραμμικό least-squares fit (παρουσιασμένο στο σχήμα 4b). Η κλίση αυτού μας δίνει το β άμεσα. Για την καμπύλη φορτίων, στο όριο $P \rightarrow 0$, η θερμοκρασία του bolometer από $T \rightarrow T0$ και $R(T, P \rightarrow 0) = R(T0)$ (ή συχνότερα $R0$, η μηδενική αντίσταση πόλωσης). Αυτό μπορεί να καθοριστεί από την $R-P$ καμπύλη, και να αντικατασταθεί στην εξίσωση (9) για να συναγάγει την Tg . Το Gs μπορεί έπειτα να βρεθεί από την παρεμπόδιση least-squares

fit και χρησιμοποιώντας την τιμή της Tg . Η εφαρμογή αυτού στις συνθετικές καμπύλες ανακτεί τις άλλες πρότυπες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται αρχικά για να παραγάγουν τα στοιχεία - όπως αναμένονται.

Στην πράξη, η εξίσωση (12) είναι δύσκολο να ισχύσει δεδομένου ότι απαιτεί τα εξαιρετικά χαμηλού θορύβου στοιχεία. Τα σχήματα 5 και 6 παρουσιάζουν ίδια διαδικασία συναρμολογήσεων για τις συνθετικές καμπύλες φορτίων, αλλά με το θόρυβο που προστίθεται στην τάση και τις τιμές ρεύματος 0.01% και 0.1% στα επίπεδα θορύβου αντίστοιχα. Μπορεί να φανούν από τα σχήματα 5α και 6α εκείνες οι ανακριβείς τιμές R^α που ανακτώνται, με συνέπεια τις θορυβώδεις πλοκές. Έχει αποδειχθεί από τα συνθετικά στοιχεία ότι μια καμπύλη φορτίων πρέπει να μετρηθεί καλύτερα από 0.05% προκειμένου να εγκατασταθεί η εξίσωση (12) με οποιαδήποτε εμπιστοσύνη. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας στη μέτρηση δεν είναι σχεδόν επιτεύξιμο.

3.5.5 Μη γραμμική συναρμολόγηση στο φορτίο καμπυλών

Δεδομένου ότι δεν μπορούμε να εγκαταστήσουμε το πρότυπό μας με οποιαδήποτε αξιοπιστία σε μια ενιαία καμπύλη φορτίων, χρειαζόμαστε μια εναλλακτική μέθοδο παραγωγής παραμέτρου. Αυτό είναι δυνατό με τη μέτρηση " family " από τις καμπύλες φορτίων πέρα από μια σειρά ίδιων θερμοκρασιών (και τελικά ακτινοβόλες δυνάμεις), και

χρησιμοποιώντας έπειτα μία κατάλληλη μη - γραμμική μέθοδο για τις πρότυπες παραμέτρους μας. Μπορούμε να συνδυάσουμε τις εξισώσεις (8) και (9) σε μια μορφή κατάλληλη για τη μη γραμμική συναρμολόγηση καμπυλών:

$$P(R)=X\left[\frac{T_g}{T_0 \ln(R/R^*)^n}^Y-1\right]-Q \quad (13)$$

όπου $Y = \beta + 1$ και

$$X=GsoT_0/Y \quad (14)$$

Δεν μπορούμε απλά να εγκαταστήσουμε τα X , Y , T_g και Q στις μετρημένες καμπύλες φορτίων και να αναμείναμε τα λογικά αποτελέσματα για να καθοριστεί.

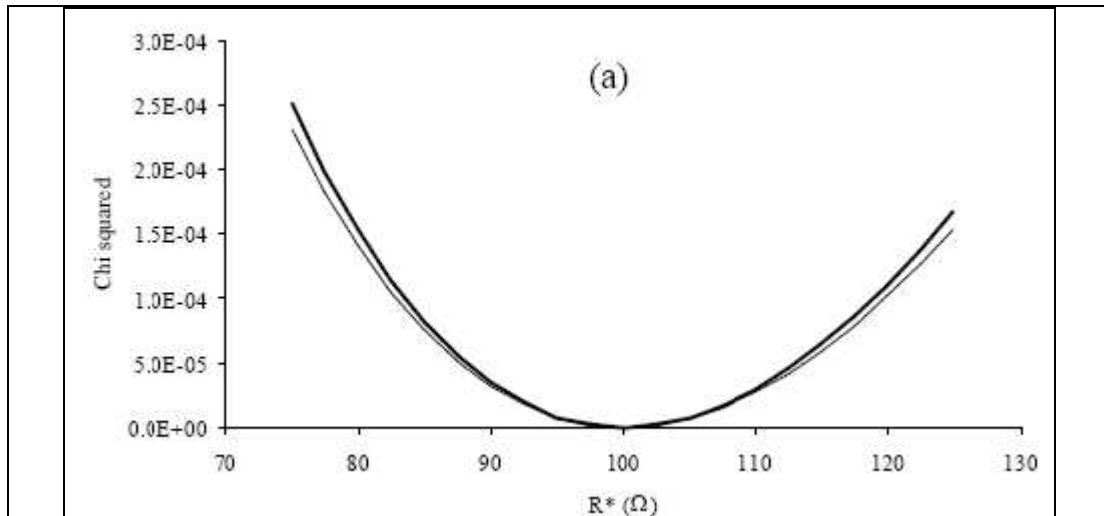
Το πρόβλημα συντίθεται από το γεγονός ότι θα θελήσουμε να προσαρμόσουμε το T_0 σαν ελεύθερη παράμετρο στα στοιχεία - αν και θα εμφανιζόταν η T_0 πρέπει να καθοριστεί άμεσα από την δοκιμή μας, στην πρακτική πειραματική τα λάθη βαθμολόγησης μας αναγκάζουν να μεταχειριστούμε την ίδια θερμοκρασία ως μια άλλη κατάλληλη παράμετρο.

Ο λόγος που δεν μπορούμε να προσαρμόσουμε την εξίσωση (13) στα στοιχεία μας είναι ότι οι παράμετροι δεν είναι πραγματικά σε εξάρτηση. Για παράδειγμα, οι καμπύλες φορτίων, T_0 είναι μια λειτουργία των T_g , R_0 και R^* :

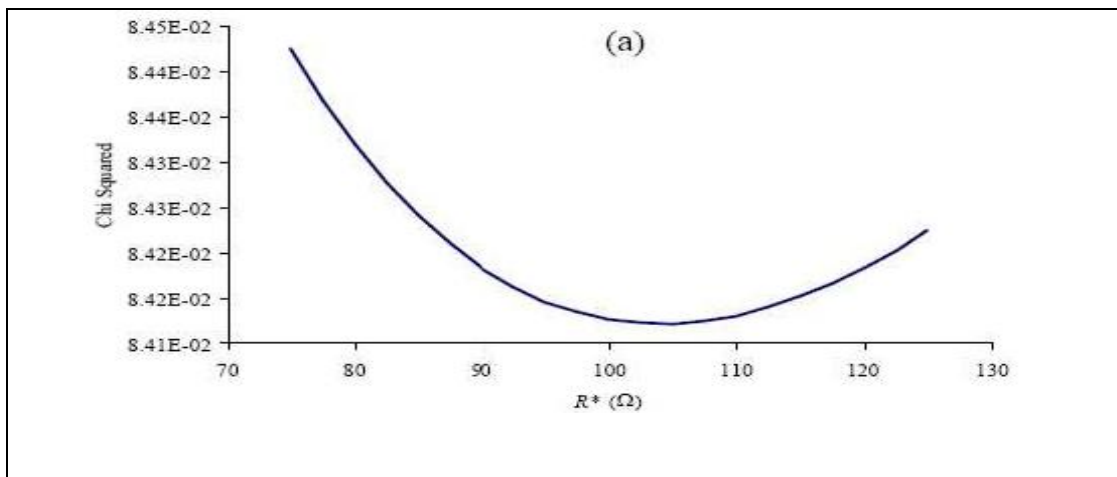
$$T_0=T_g/\ln(R_0/R^*)^n \quad (15)$$

όπου R_0 είναι η αντίσταση θερμικών αντιστάσεων σε μηδενικό bias ρεύμα. Ομοίως, για μη-καμπύλες φορτίων Q μπορούμε να την εκφράσουμε ως λειτουργία των άλλων παραμέτρων. Επιπλέον οι καλύτερες κατάλληλες τιμές παραμέτρου δεν είναι μοναδικές. Μπορεί να αποδειχθεί ότι, σε μερικές περιπτώσεις, οι καλύτερα κατάλληλες καμπύλες για την εξίσωση (13) μπορούν να αναπαραχθούν ακριβώς από τα σύνολα παραμέτρου με τις αρνητικές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας και της ακτινοβόλου δύναμης. Τέτοια σύνολα παραμέτρου είναι απολύτως μη φυσικά.

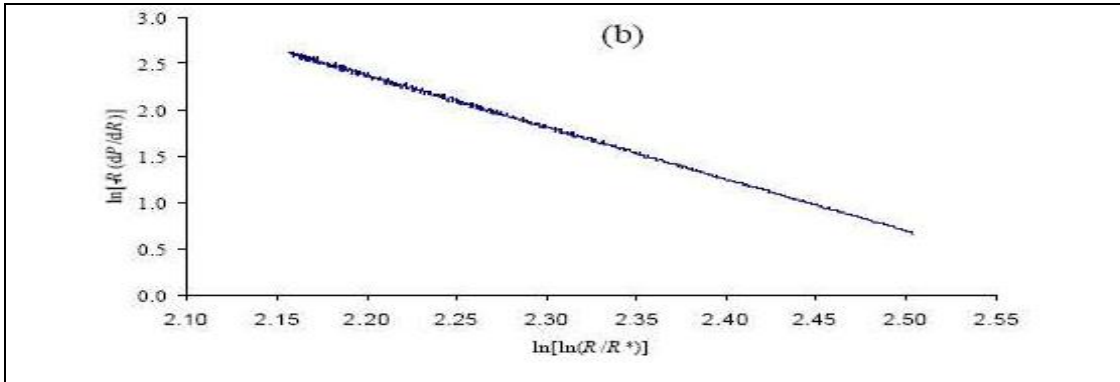
Σαφώς, χρειαζόμαστε μια μέθοδο για να σπάσουμε αυτό degeneracy. Ευτυχώς, μπορούμε να καθορίσουμε μερικές από τις παραμέτρους στο πρότυπο που χρησιμοποιεί ένα σύνολο καμπύλων φορτίων, μειώνοντας κατά συνέπεια τον αριθμό ελεύθερων παραμέτρων.



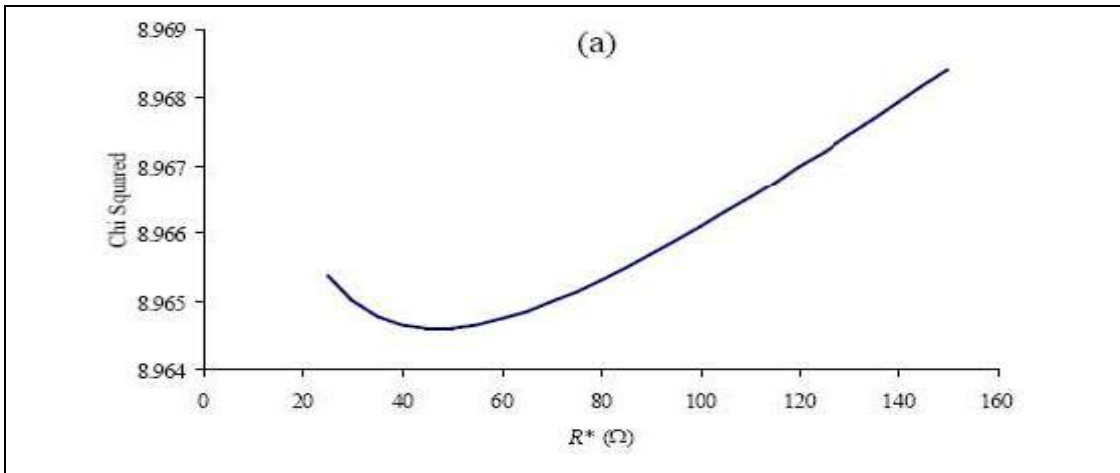
Σχήμα 3.7: (a) \hat{A}^2 σε σχέση με R^* από εξίσωση (12) για συνθετικά στοιχεία καμπύλων φορτίων. (b) Τα στοιχεία καμπύλων φορτίων σχεδιάζονται σύμφωνα με την εξίσωση (12) για την καλύτερη τιμή $R^* = 100\Omega$ από (a). Και στις δύο περιπτώσεις, η μικρότερη γραμμή αντιπροσωπεύει τα στοιχεία ($Q = 0$) και η μεγαλύτερη γραμμή τα στοιχεία (Sudiwala).



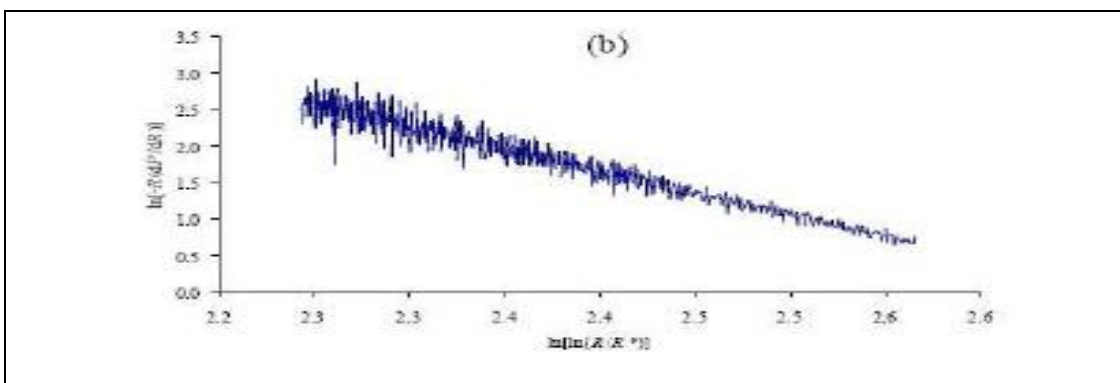
Σχήμα 3.8: (a) \hat{A}^2 σε σχέση με R από εξίσωση (12) για συνθετικά στοιχεία καμπύλων φορτίων με 0.01% προστιθέμενο θόρυβο. Η καλύτερη τιμή $R^* = 103.5 \Omega$



Σχήμα 3.9: (b) Τα στοιχεία καμπύλων φορτίων που σχεδιάζονται σύμφωνα με την εξίσωση (12) για την τιμή του R^* από (a) (Sudiwala.).



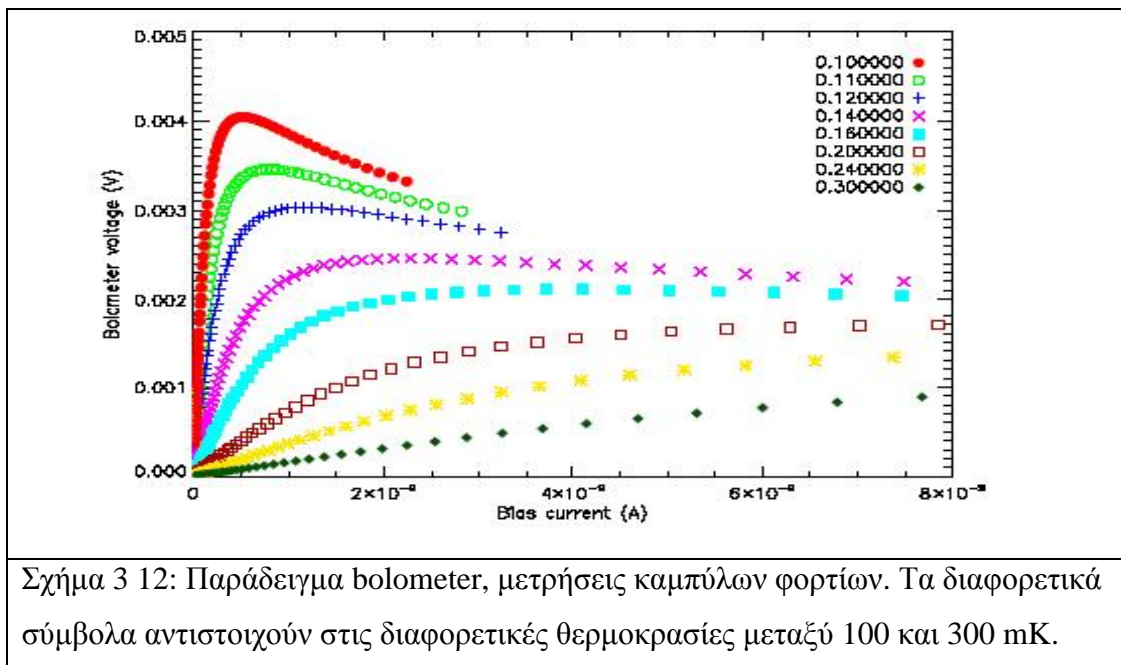
Σχήμα 3.10: (a) \hat{A}^2 σε σχέση με R^* από την εξίσωση (12) για τα συνθετικά στοιχεία καμπύλων φορτίων με 0.1% προστιθέμενο θόρυβο. Η καλύτερη τιμή $R^* = 47 \Omega$



Σχήμα 3.11: (b) Τα στοιχεία καμπύλων φορτίων που σχεδιάζονται σύμφωνα με την εξίσωση (12) για την τιμή R^* από (a) (Sudiwala).

3.6 Πρότυπο δύο σταδίων συναρμολόγησης στο φορτίο καμπύλης "families"

Η πιο κοινή μέθοδος για τις παραμέτρους του θερμικού προτύπου από τα πειραματικά στοιχεία χρησιμοποιεί μια προσέγγιση δύο επιπέδων. Το πρώτο βήμα είναι να καθορίσει το $R(T)$ από την εξίσωση (9). Η πλοκή καμπύλων φορτίων μας V σαν λειτουργία του πολικού ρεύματος, I , έτσι μπορούμε να λάβουμε το R από την κλίση των καμπυλών. Εντούτοις, υπάρχει ένα μικρό πρόβλημα. Το σχήμα 7 παρουσιάζει ένα παράδειγμα των καμπύλων φορτίων για ένα πρωτότυπο όργανο bolometer από την υψηλή - συχνότητα του Planck Surveyor CMB σε μια σειρά θερμοκρασιών. Μπορούμε σαφώς να δούμε από αυτό ότι η κλίση των καμπυλών δεν είναι σταθερή, και είναι αρνητική μέσα σε μερικές περιοχές της καμπύλης. Ο λόγος για αυτήν την ασυνέπεια είναι ότι ως αυξήσεις πολικού ρεύματος, αυτοθερμενόμενο στο thermistor μειώνει την αντίσταση. Αυτή η επίδραση περιπλέκει τη λειτουργία του bolometer, αλλά από την άποψη του χαρακτηρισμού πρέπει απλά να χρησιμοποιήσουμε την αρχή της κάθε καμπύλης φορτίων όπου η αντίσταση είναι σταθερή (η τιμή του R σε αυτή την περιοχή είναι R_0).

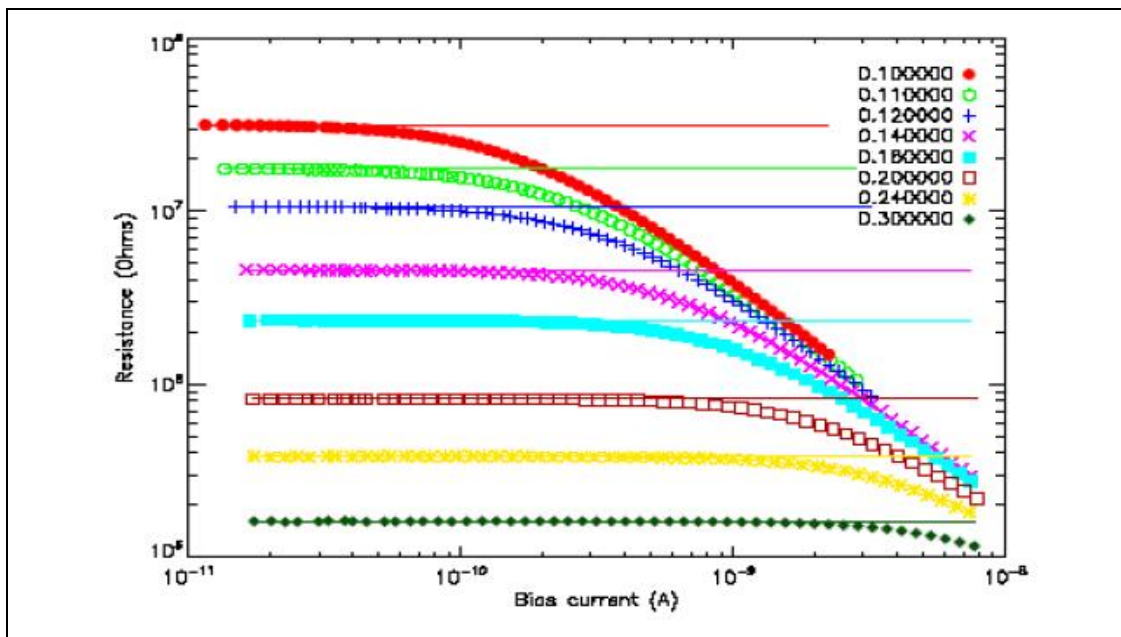


Είναι ένα θέμα κρίσης ως προς το πόσο από το φορτίο της καμπύλης που χρησιμοποιεί πριν από την αντίσταση παρεκκλίνει από μια σταθερή κλίση, αλλά ένας τρόπος να απλοποιηθεί αυτό είναι να σχεδιαστεί το $R = V/I$ με το I σε μια κλίμακα, όπως φαίνεται στο σχήμα 8. Το σημείο όπου η καμπύλη φορτίων παρεκκλίνει από μια ευθεία γραμμή είναι αρκετά προφανέστερο όταν σχεδιάζεται κατ' αυτό τον τρόπο.

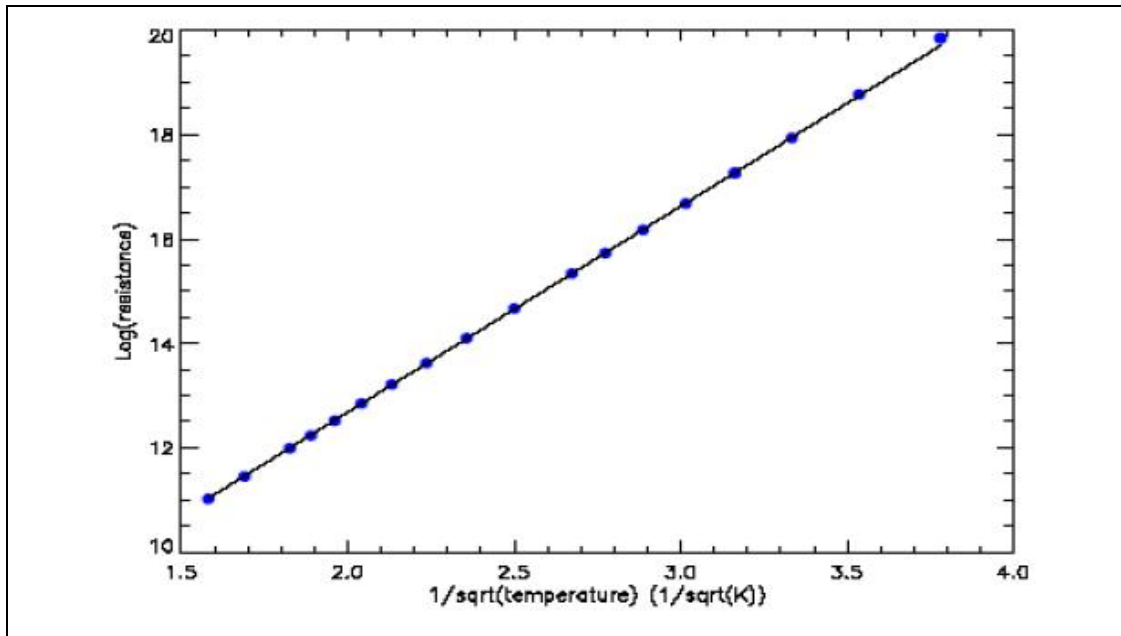
Μπορούμε τώρα να σχεδιάσουμε τη μηδενική πολική αντίσταση σαν λειτουργία της θερμοκρασίας. Από την εξίσωση (9), για την περίπτωση όπου $T = T_0$, μπορούμε να γράψουμε:

$$\ln(R_0) = \ln(R^*) + (T_g/T_0)^n \quad (16)$$

Μια πλοκή στη μορφή $\ln(R_0)$ σαν λειτουργία του $1/\sqrt{T_0}$ θα είναι γραμμικό (σχήμα9), να υποθέσει αυτού ότι $n = 0.5$ όπως προηγουμένως, με την κλίση και παρεμπόδιση να είναι γραμμική, κατάλληλη να παραγάγει τα T_g και R^* . Εάν το n διαφέρει από 0.5, κατόπιν μια εξέταση των κατάλληλων υπολοίπων από μια γραμμική τακτοποίηση θα μας πει υπό αυτήν τη μορφή. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν να πραγματοποιηθεί μια μη γραμμική τακτοποίηση με το n σαν μία πρόσθετη ελεύθερη παράμετρο.



Σχήμα 3.13: Καμπύλες φορτίων από το σχήμα 7, σχεδιασμένες ως διαγώνιες ρεύματος σε σχέση με την αντίσταση. Οι στερεές γραμμές δείχνουν την επιλεγμένη τιμή για τη μηδενική αντίσταση bias , R_0 .

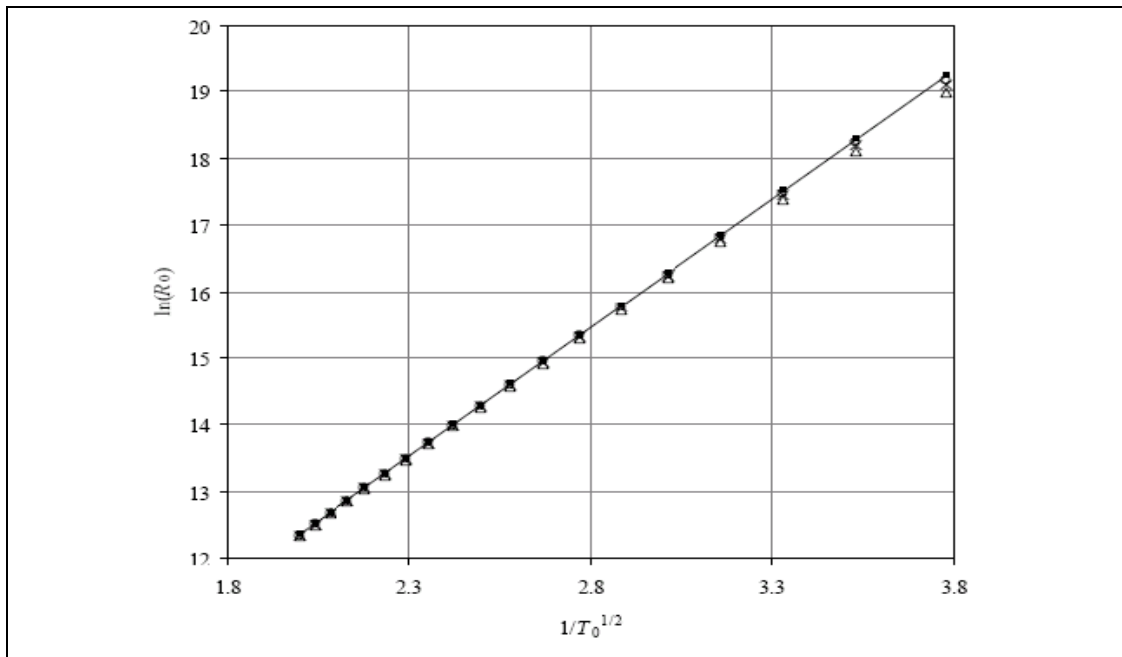


Σχήμα 3.14: Πλοκή του bolometer μηδενικής πολικής αντίστασης ως λειτουργία της θερμοκρασίας, με μια γραμμική τακτοποίηση της μορφής εξίσωσης (16).

Πολύ μικρές αλλαγές της γραμμικότητας από μια πλοκή όπως αυτή στο σχήμα 9 θα οδηγήσει επίσης το bolometer να απορροφήσει οποιαδήποτε stray power, ακόμα κι αν η τιμή του n είναι σωστή. Τέτοια stray power μπορεί να προκληθεί από μια διαρροή ακτινοβολίας στο πειραματικό όργανο, ή από το μικροφωνικό, ηλεκτρικό ή RF pickup. Για να επεξηγήσει αυτήν την επίδραση, το σχήμα 10 παρουσιάζει μια πλοκή του $\ln(R_0)$ με το $1/\sqrt{T_0}$ από τα συνθετικά στοιχεία για τα στοιχεία, και με τις μικρές τιμές της απορροφημένης δύναμης Q συμπεριλαμβανόμενος για να μιμηθεί stray power φόρτωση στο bolometer.

Τώρα που έχουμε καθορίσει τα R^{α} , Tg , και επιβεβαιώσαμε ότι η τιμή του n είναι κατάλληλη, μπορούμε να επιστρέψουμε στη μη γραμμική τακτοποίηση στην εξίσωση (13) για να καθορίσουμε τα Gs_0 και β . Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να καθοριστούν αυτές οι παράμετροι άμεσα με την εξέταση στις αλλαγές του T καθώς το ρεύμα bias αυξάνεται, με παρόμοιο τρόπο στο πώς οποιαδήποτε θερμική αγωγιμότητα θα καθοριζόταν πειραματικά. Οποιαδήποτε μέθοδο να χρησιμοποιήσουμε, πρέπει τώρα να είμαστε σε θέση να εφαρμόσουμε τις παραμέτρους που έχουμε αποφασίσει για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του bolometer μας σε μια arbitrary θερμοκρασία. Ένας προφανής έλεγχος σε αυτή τη φάση θα ήταν να προσπαθήσει να προβλέψει τις καμπύλες φορτίων που έχουμε μετρήσει ήδη από το πρότυπό μας. Το σχήμα 11 παρουσιάζει πλοκές των ίδιων καμπύλων φορτίων όπως στο σχήμα 7, αλλά με τις αντικαταστάσεις από το θερμικό πρότυπο συμπεριλαμβανόμενο. Όπως

μπορεί να φανεί, υπάρχει γενικά πολύ καλή συμφωνία. Εάν υπάρχει οποιαδήποτε σημαντική απόκλιση μεταξύ των αντικαταστάσεων και των μετρημένων στοιχείων, κατόπιν τα πιθανά αίτια είναι μη - γραμμικά αποτελέσματα στη συμπεριφορά του bolometer. Αυτά τα αποτελέσματα είναι πλέον πιθανά να είναι ένα πρόβλημα στις χαμηλές θερμοκρασίες, γενικά $T_0 < 100$ mK



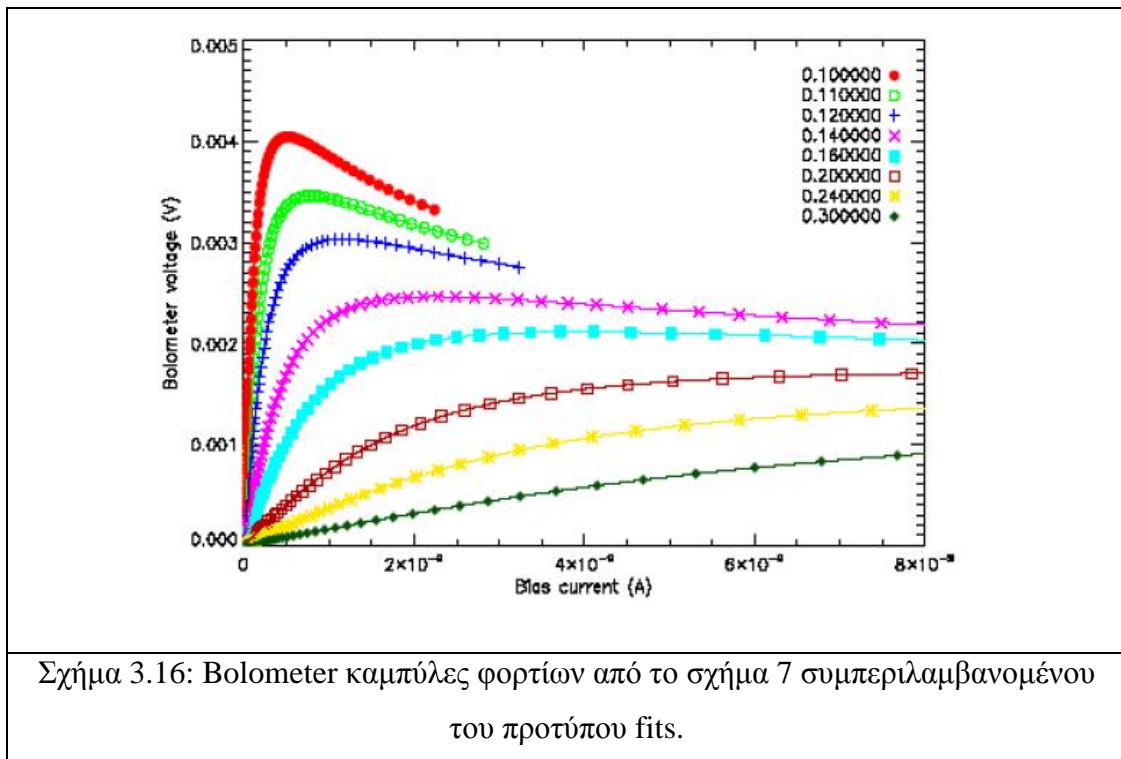
Σχήμα 3.15: $\ln(R_0)$ με $1/\sqrt{T_0}$ από τις συνθετικές καμπύλες φορτίων: (στερεά τετράγωνα); περιπλανώμενη ακτινοβολός δύναμη $Q = 0.05$ pW (open diamonds), 0.1 pW (σταυροί) και 0.2 pW (ανοικτά τρίγωνα). Η γραμμή εγκαθίσταται στα σημεία στοιχείων (Sudiwala).

3.7 Ο ρόλος των μη εφαρμόσιμων καμπύλων φορτίων

Ενώ οι καμπύλες φορτίων σε γενικές γραμμές επιτρέπουν σε μας να καθορίσουμε όλες τις παραμέτρους στο θερμικό πρότυπο που παρουσιάζεται στην παράγραφο 2, μη εφαρμόσιμο σε όλες τις περιπτώσεις φορτίο οι καμπύλες είναι επίσης σημαντικές να χαρακτηρίσουν πλήρως το bolometer μας.

Αν και δεν έχουμε συζητήσει αυτήν την πτυχή του χαρακτηρισμού του bolometer μας, τελικά το bolometer θα εκτεθεί στην εξωτερική ακτινοβολία, και υπάρχουν διάφορες παράμετροι, όπως η δυναμική απάντηση των συσκευών σε ένα οπτικό φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο μπορεί μόνο να καθοριστεί από τις μη εφαρμόσιμες μετρήσεις.

Επιπλέον αυτού, τα μη εφαρμόσιμα σε όλες τις περιπτώσεις στοιχεία παρέχουν τη δυνατότητα διάφορων ελέγχων εσωτερικής συνέπειας για τα πειραματικά στοιχεία. Τα παραδείγματα είναι ότι οι τιμές β και G_{s0} πρέπει να είναι οι ίδιες για εφαρμόσιμες και μη εφαρμόσιμες καμπύλες φορτίων που καταγράφονται στην ίδια θερμοκρασία, και ότι η τιμή Q πρέπει να είναι η ίδια για όλες τις μη εφαρμόσιμες καμπύλες φορτίων μέσα σε μια οικογένεια που καταγράφεται στην ίδια θερμοκρασία πηγής.



3.8 Εφαρμογή του προτύπου σε αυθαίρετες τιμές T_0 .

Υπάρχει ένα μάλλον προφανές πρόβλημα με την εφαρμογή των πρότυπων παραμέτρων στο bolometer στις σκηνικές θερμοκρασίες εκτός από εκείνες που έχουμε μετρήσει. Ενώ τα β , n , T_g και R^{α} δεν είναι λειτουργίες της θερμοκρασίας, το G_{s0} θα αλλάξει καθώς η σκηνική αρχική θερμοκρασία αλλάζει. Η λύση σε αυτό προέρχεται πραγματικά από την εξίσωση (3). Στο χρόνο είπαμε ότι ήταν ανακριβές να υποθέσουμε ότι η παραλλαγή της στατικής θερμικής αγωγιμότητας με τη θερμοκρασία υπάκουσε έναν ισχυρό νόμο αυτής της μορφής επειδή καμία προσοχή δεν δόθηκε στην παραλλαγή θερμικού ,η αγωγιμότητα πέρα από τη σύνδεση ως θερμοκρασία της σύνδεσης ποίκιλε από T σε T_0 . Εντούτοις, υπάρχει μια ειδική περίπτωση όπου $k(T)$ θα είναι σταθερό όταν το $T = T_0$. Επομένως, εάν αλλάζουμε τη σκηνική θερμοκρασία από T_0 σε κάποια άλλη θερμοκρασία T_{00} , θα δούμε:

$$G_{so}(T_o') = G_{so}(T_o) (T_o'/T_o)^\beta \quad (17)$$

Ακριβώς για να επαναλάβει, αυτή η σχέση ισχύει μόνο για τη στατική θερμική αγωγιμότητα $T = T_o$, όχι για μια arbitrary τιμή του T .

Συμπέρασμα

Έχουμε περιγράψει ένα απλό πρότυπο ενός ιδανικού bolometric ανιχνευτή. Αυτός θα μας επέτρεπε να προβλέψουμε τη βασική στατική συμπεριφορά του bolometer, και που θα μπορούσε να επεκταθεί για να εξετάσει την πιο σύνθετη δυναμική συμπεριφορά της συσκευής. Έχουμε εξετάσει ποια στοιχεία χρειαζόμαστε και πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ότι στοιχεία χρειαζόμαστε για να λάβουμε τις παραμέτρους στο πρότυπο, έτσι δίνεται άδεια σε μας για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του bolometer υπό τους arbitrary όρους για τους οποίους δεν έχουμε καμία άμεση μέτρηση από τα πειράματά μας.

Επίσης εν συντομία έχουμε εξετάσει μερικά από τα προβλήματα των στοιχείων από τις πραγματικές συσκευές, και μερικά από τα προβλήματα του προτύπου μας στα στοιχεία. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πρακτικών εκτιμήσεων όταν γίνεται η λήψη και τα πειραματικά στοιχεία που περιγράφονται αναλυτικά μέχρι τώρα που δεν έχουμε συζητήσει - το ενδιαφερόμενο συμβαλλόμενο μέρος πρέπει να κοιτάξει στις αναφορές που απαριθμούνται κατωτέρω για τις πιο λεπτομερείς συζητήσεις των πειραματικών και των τελικών διαμορφώσεων (ειδικότερα οι πρόσφατες εργασίες Sudiwala και Woodcraft).

Αναμένεται ότι αυτό το σεμινάριο έχει παράσχει μια συνοπτική εισαγωγή στις ιδέες της διαμόρφωσης και του χαρακτηρισμού των bolometric ανιχνευτών, και έχει δώσει μια ιδέα για το πόσο σημαντική είναι μια τέτοια εργασία πραγματικά. Εν ολίγοις, εκτός αν έχουμε μια λεπτομερή κατανόηση για το πώς ένας ανιχνευτής συμπεριφέρεται, δεν μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε! (5)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

THERMISTOR

1. www.temperatures.com/thermistors.html
2. www.amwei.com
3. <http://www.rtie.com>
4. www.merriam-webster.com/dictionary/thermistor

THERMOCOUPLE

1. <http://instrumentation-central.com/>
2. <http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/elessonhtml/Sensors/TempR.html>
3. <http://omega.com/thermocouples.html>
4. <http://www.omega.com/techref/thermoref.html>
5. <http://www.temperatures.com/stds-tcs.html>
6. <http://srdata.nist.gov/its90/download.html>
7. <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1208>

BOLOMETERS

1. bolo.berkeley.edu/
2. www.abdn.ac.uk/physics/case/bolom.htm
3. ir.astro.umn.edu/instruments/bolo.html
4. en.wikipedia.org/wiki/Bolometer
5. www.roe.ac.uk/ifa/postgrad/pedagogy/2006_hollister.pdf