

Μετρήσεις Θερμοκρασίας

Οι διαφάνειες αποτελούν υλικό του βιβλίου:

Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου ***Τεχνολογία μετρήσεων***

2η Αναθεωρημένη Έκδοση

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22694842

Έκδοση: 2η Έκδοση/2013

ISBN: 978-960-418-386-9

Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

Ορισμοί θερμότητας και θερμοκρασίας

Θερμότητα

Πρόκειται για τη θερμική ενέργεια που αποδίδει ή αποδίδεται σε ένα σώμα

Θερμοκρασία

Πρόκειται για το μετρήσιμο μέγεθος της θερμότητας

Μονάδες μέτρησης της θερμοκρασίας

βαθμός Κέλβιν (Kelvin, °K)

$$K = °C + 273,15$$

Φαρενάιτ (Fahrenheit, °F)

$$°F = °C \cdot \frac{9}{5} + 32$$

Κελσίου (Celsius, °C)

$$°C = (°F - 32) \cdot \frac{5}{9}$$

Θερμική σταθερά

- είναι ο χρόνος που απαιτείται μεταξύ της μεταβολής της θερμοκρασίας του μετρήσιμου αντικειμένου και της απόκτησης του μεγέθους από τον αισθητήρα
- εξαρτάται άμεσα από την κατασκευή του αισθητήρα

Δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_c = \frac{mC}{kA}$$

t_c : η θερμική χρονική σταθερά,
 m : η μάζα του αισθητηρίου στοιχείου,
 C : η τιμή της θερμοκρασίας,
 k : ο συντελεστής μεταφοράς της θερμοκρασίας του υλικού, και
 A : το εμβαδό της θερμικής επιφάνειας

Για συνεχείς μεταβολές των τιμών της θερμοκρασίας ισχύει:

$$T - T_2 = (T_1 - T_2)e^{-\frac{t}{t_c}}$$

T : η τιμή της μετρούμενης θερμοκρασίας μετά τη μεταβολή της θερμοκρασίας,
 T_1 : η τιμή της μετρούμενης θερμοκρασίας πριν τη μεταβολή της θερμοκρασίας,
 T_2 : η πραγματική τιμή της θερμοκρασίας, και
 t : ο χρόνος διάρκειας μεταβολής της θερμοκρασίας.

Θερμόμετρα με ρευστό

Η εξίσωση που περιγράφει την αύξηση του όγκου του ρευστού είναι:

$$V = V_o (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

V_o : ο όγκος του ρευστού στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, και
 α και β : οι θερμικοί συντελεστές του ρευστού.

θερμικοί συντελεστές υδραργύρου:

$$\alpha = 1,8 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \beta = 5 \cdot 10^{-8}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$



Μέτρηση θερμοκρασίας με διμεταλλικά ελάσματα

Αξιοποιείται το φαινόμενο της διαστολής-συστολής που προξενείτε από τις μεταβολές θερμοκρασίας σε ένα στερεό σώμα και το οποίο επιφέρει μεταβολή των διαστάσεών του.

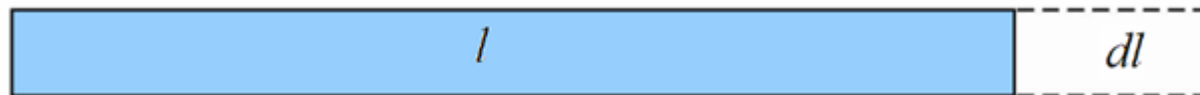
Η μεταβολή του μήκους της κατά dl λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας δίνεται:

$$dl = a \cdot l \cdot dT$$

dl : η μεταβολή του μήκους,

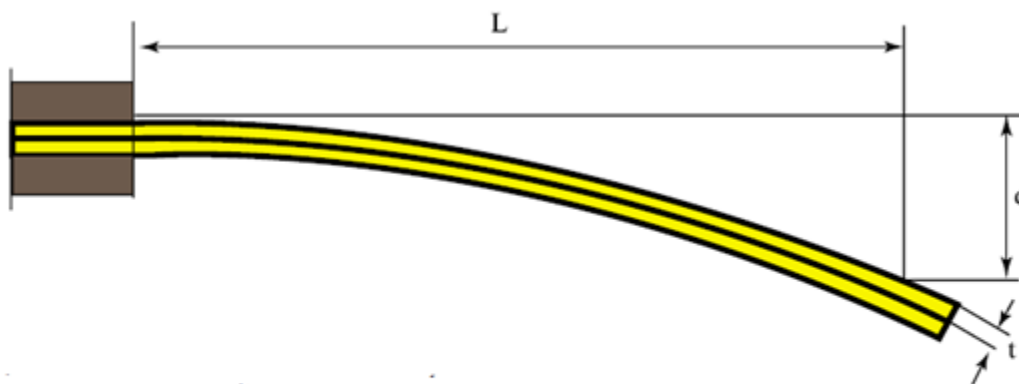
dT : η μεταβολή της θερμοκρασίας, και

a : ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του υλικού (grad^{-1}).



Ευθύγραμμα διμεταλλικά ελάσματα

Αρχή λειτουργίας



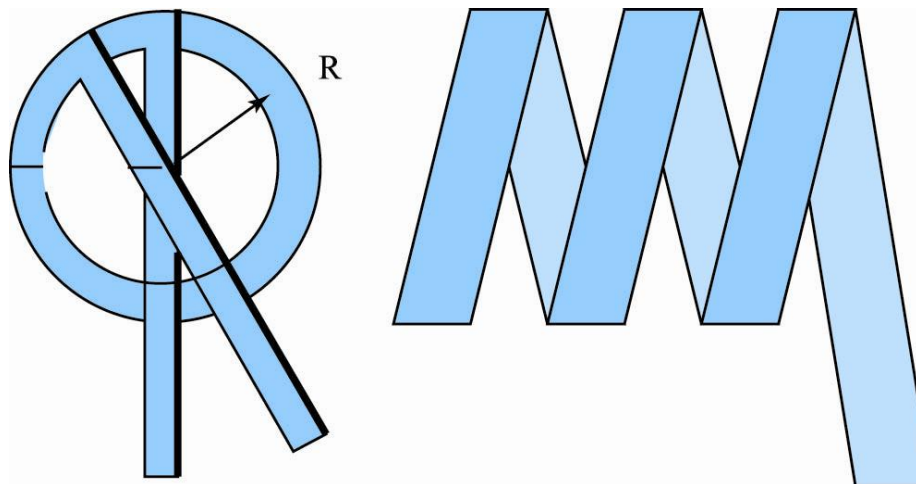
$$d = \frac{3(a_2 - a_1)(T - T_0)l^2}{t}$$

d : η απόκλιση από της ευθείας στην κατάσταση ηρεμίας,
 l : το μήκος του διμεταλλικού ελάσματος,
 t : το πάχος του διμεταλλικού ελάσματος,
 a_1 : ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του μετάλλου 1,
 a_2 : ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του μετάλλου 2,
 T : η τελική θερμοκρασία, και
 T_0 : η αρχική θερμοκρασία.

Ελικοειδή διμεταλλικά ελάσματα

Στα ελάσματα σε ελικοειδή μορφή η απόκλιση λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$d = \frac{9(a_2 - a_1)(T - T_0)Rl}{4t}$$



Μέτρηση θερμοκρασίας μέσω ηλεκτρικής αντίστασης

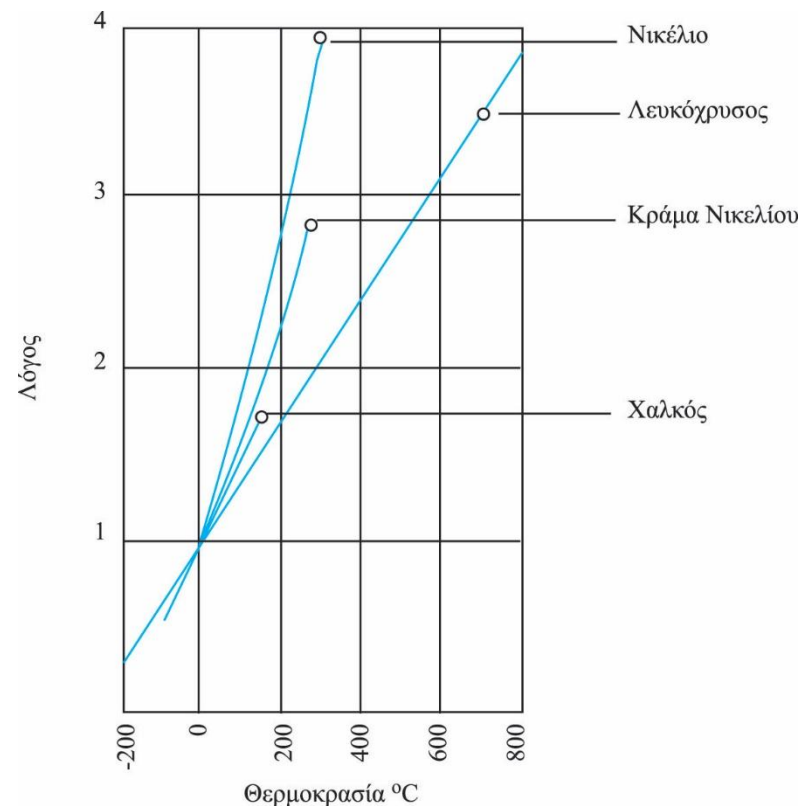
$$R_T = R_{T_0} [1 + \alpha(T - T_0)]$$

R_T : η ειδική αντίσταση του αγωγού σε θερμοκρασία T ,

R_{T_0} : η ειδική αντίσταση του αγωγού σε θερμοκρασία αναφοράς T_0 (0°C ή 20°C), και

α : ο θερμικός συντελεστής του υλικού της ηλεκτρικής αντίστασης

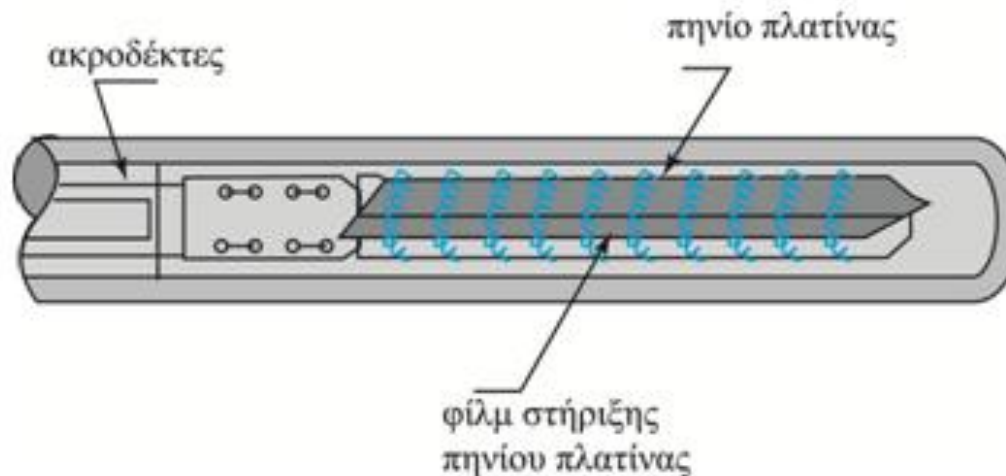
Μέταλλο	ρ ($\mu\Omega/\text{cm}$) σε 20°C	α ($^\circ \text{C}^{-1}$)
Χρυσός (Au)	2,44	0,0040
Άργυρος (Ag)	1,59	0,0041
Χαλκός (Cu)	1,72	0,0043
Λευκόχρυσος (Pt)	10,00	0,00393
Βολφράμιο (W)	5,60	0,0048
Νικέλιο (Ni)	7,80	0,0068



Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης μετάλλου

Καλούνται και ανιχνευτές θερμοκρασίας με αντίσταση ή RTD (Resistance Temperature Detectors ή Resistive Thermal Devices, RTD).

Όταν το μέταλλο που χρησιμοποιείται είναι η πλατίνα τότε τα αισθητήρια καλούνται και θερμόμετρα αντίστασης πλατίνας ή PRTs (Platinum Resistance Thermometers).

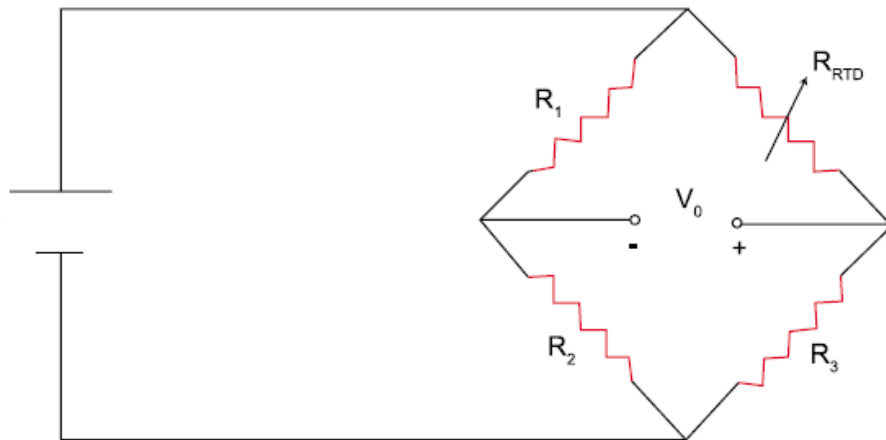


Συναρμολόγηση RTD σε μορφή σπειρών

Σύνδεση στοιχείων RTD σε γέφυρα Wheatstone

Η λαμβανόμενη τάση εξόδου της γέφυρας είναι:

$$V_0 = V_{EXT} \left(\frac{R_3}{R_3 + R_{RTD}} \right) - V_{EXT} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$



Προκειμένου να καθορισθεί η σχέση μεταξύ της αντίστασης ενός RTD και της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η εξίσωση Callendar-Van Dusen:

$$R_T = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100))$$

$$A = a \left(1 + \frac{\delta}{100} \right)$$

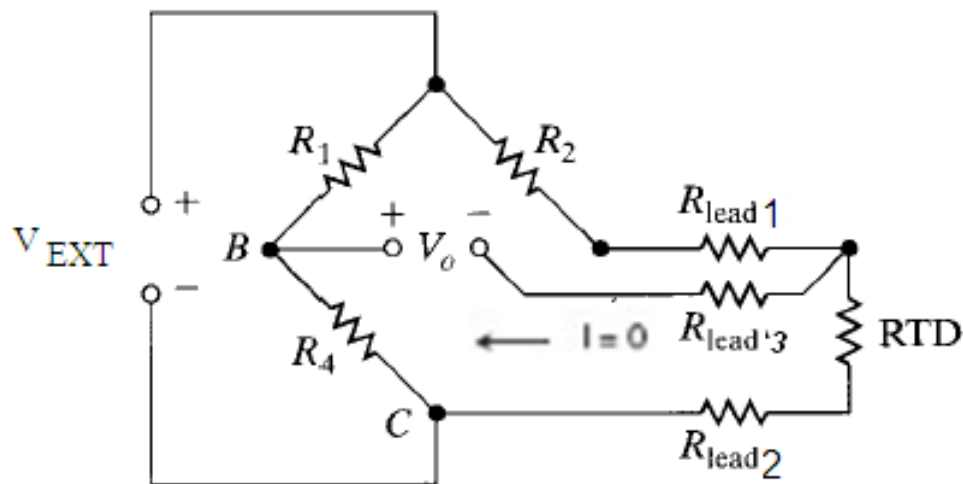
$$B = -a\delta \cdot 10^{-4}$$

$$C = -a\beta \cdot 10^{-8}$$

όπου a , ο θερμικός συντελεστής του μετάλλου

Απομακρυσμένη σύνδεση στοιχείων RTD σε γέφυρα Wheatstone

Ισοστάθμιση γέφυρας με τη μέθοδο τριών αγωγών

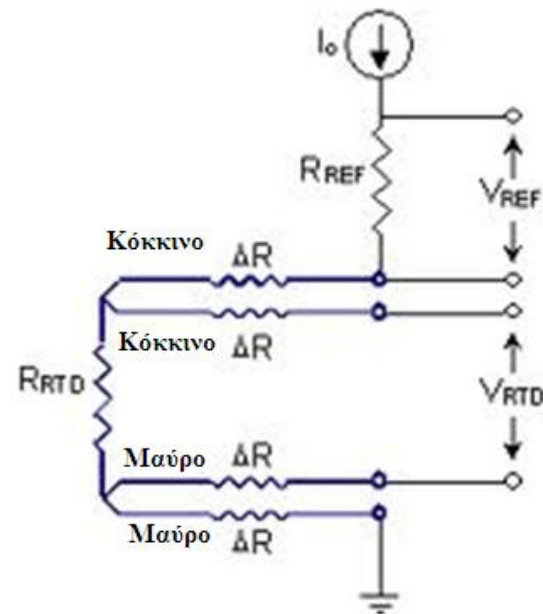


Η μεταβολής της αντίστασης του στοιχείου RTD δίνεται:

$$R_{RTD} = R_2 \frac{V_{EXT} - 2V_0}{V_{EXT} + 2V_0} - R_{Lead} \frac{4V_0}{V_{EXT} + 2V_0}$$

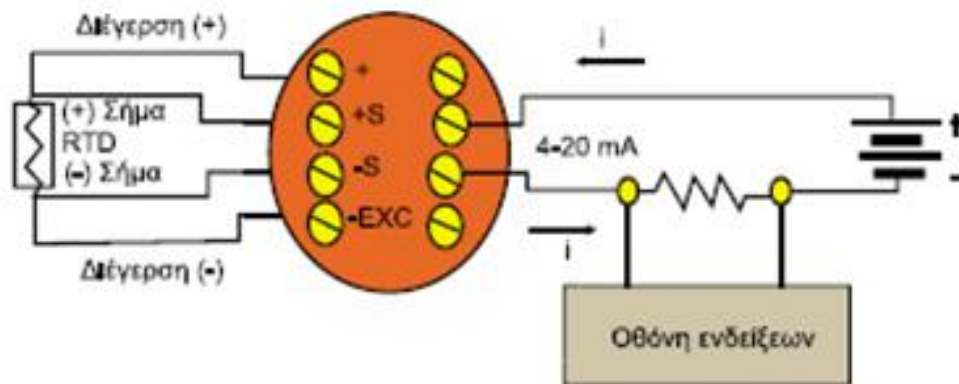
Ισοστάθμιση γέφυρας με τη μέθοδο τεσσάρων αγωγών

Παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα



Μετάδοση σήματος στοιχείων RTD

Χρησιμοποιούνται μεταδότες σήματος 4-20 mA

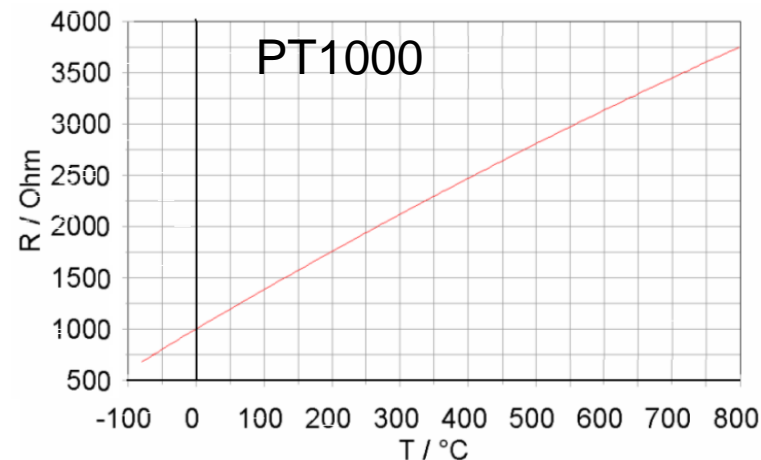
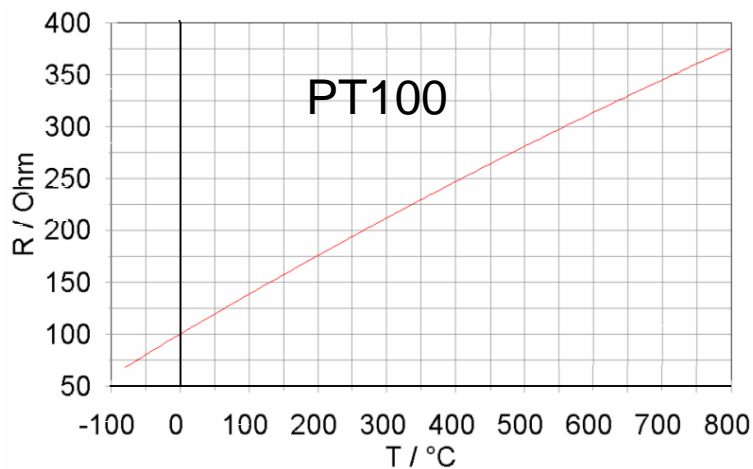


Μεταδότης TX1501 της εταιρείας OMEGA

Αισθητήρες θερμοκρασίας PT100

Αισθητήρες θερμοκρασίας PT1000

- μεγαλύτερη ευαισθησία από τον PT100
- μετρά 10 φορές μικρότερες μεταβολές της θερμοκρασίας
- στους 0 °C να έχει αντίσταση 1000 Ω



Θερμίστορ

Τα θερμίστορ παρουσιάζουν αρνητικό θερμικό συντελεστή, δηλαδή η αντίστασή τους μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία σύμφωνα με την εξίσωση:

$$R_{TH} = R_{REF} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)}$$

R_{TH} : η αντίσταση του θερμίστορ,

R_{Ref} : η αντίσταση στην θερμοκρασία αναφοράς ,

T : η θερμοκρασία,

T_{Ref} : η θερμοκρασία αναφοράς του θερμίστορ (25 C;
77 F; 298.15 K),

β : ο συντελεστής βαθμονόμησης του θερμίστορ ο οποίος εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του, και λαμβάνει τυπικές τιμές από 3,000 έως 5,000 K.



Θερμοζεύγη

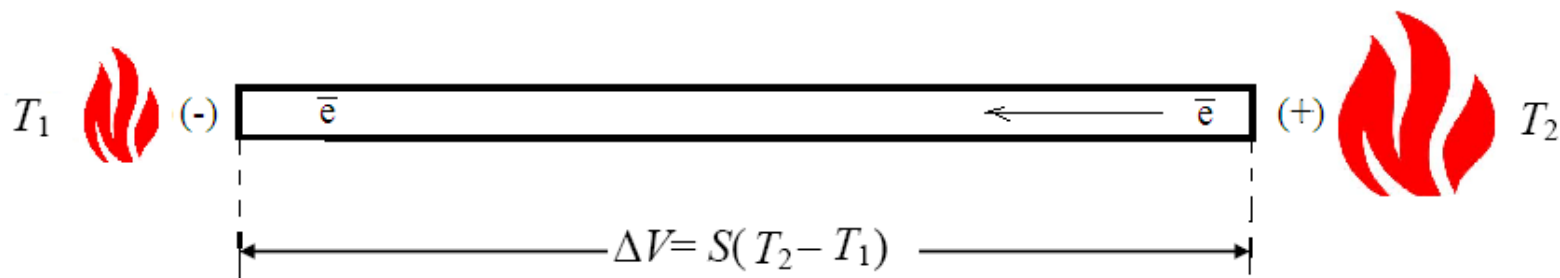
Φαινόμενο SEEBECK

Θερμαίνοντας ένα μέταλλο που οι δύο άκρες του βρίσκονται σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα $T_2 > T_1$ αναπτύσσεται μικρή διαφορά δυναμικού dV λόγω θερμοηλεκτρικού φαινομένου (thermoelectricity)

$$dV = S(T) \cdot (T_2 - T_1)$$

όπου,

$S(T)$: θερμοηλεκτρικός συντελεστής του υλικού (Volts / °K).



Θερμοζεύγη

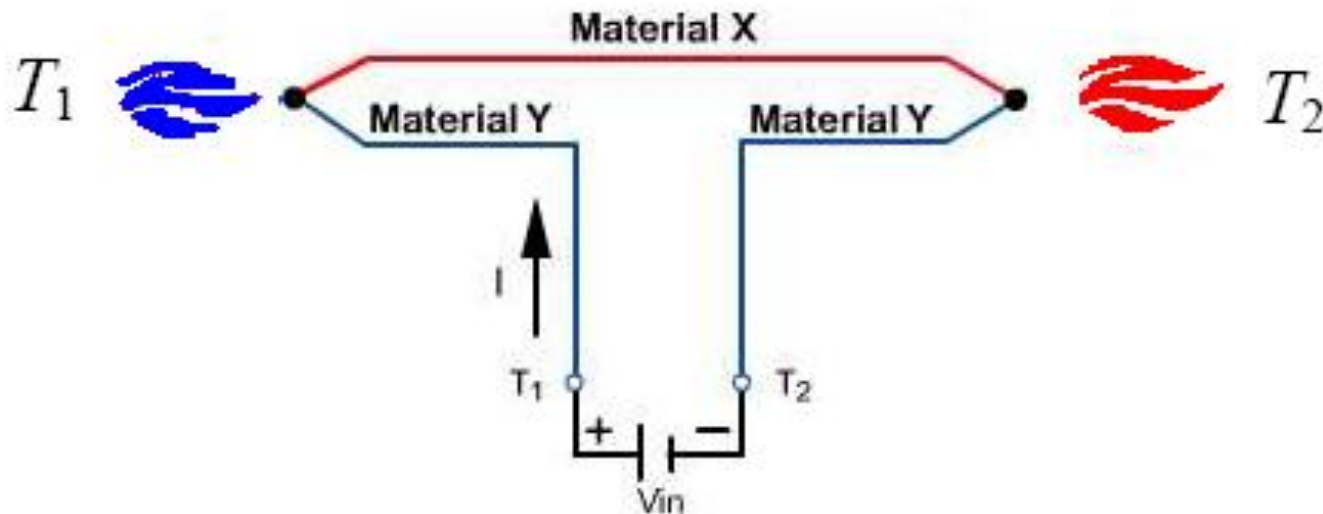
Φαινόμενο Peltier

Η επίδραση του φαινομένου Peltier δίνεται:

$$Q = \Pi_{xy} \cdot I$$

Π_{xy} : ο συντελεστής Peltier για το θερμοζεύγος x,y

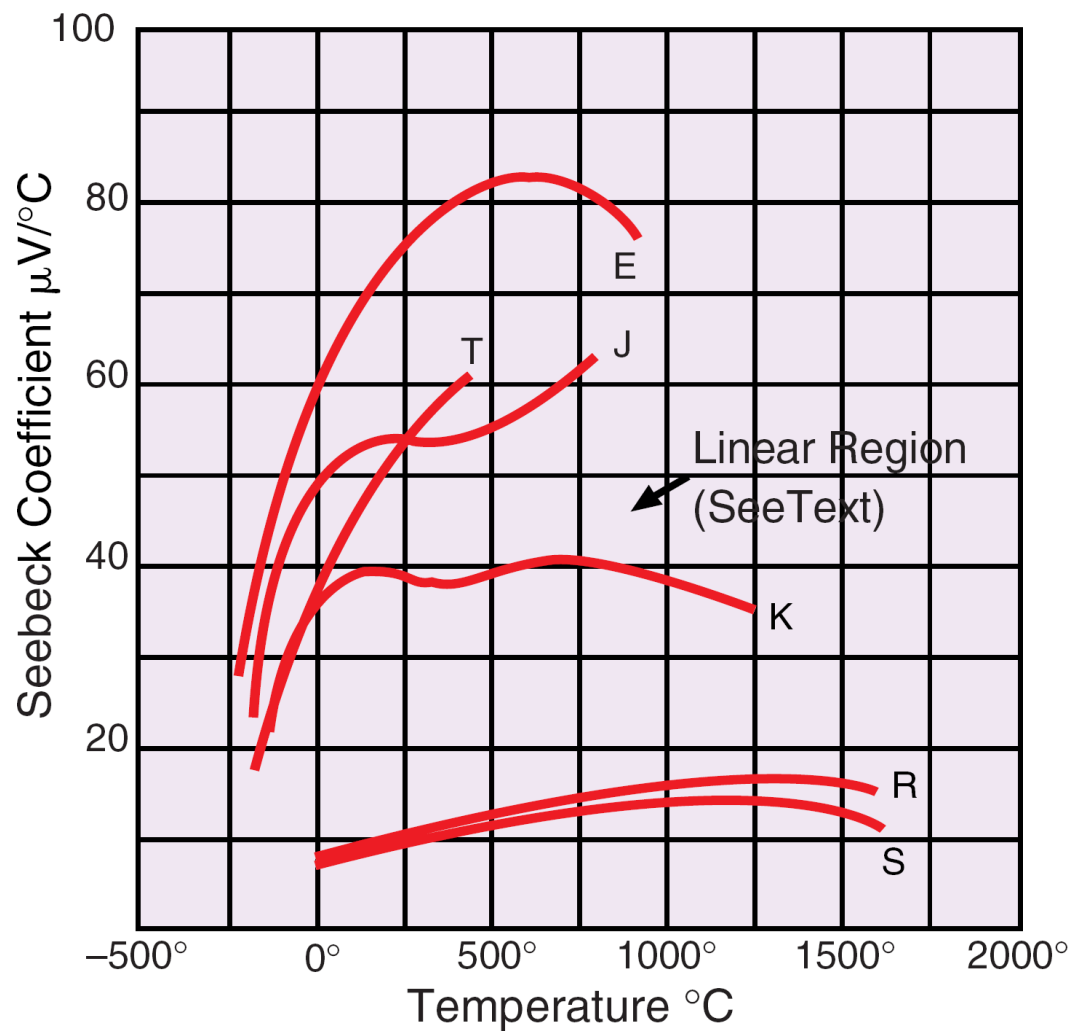
I : η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το θερμοζεύγος



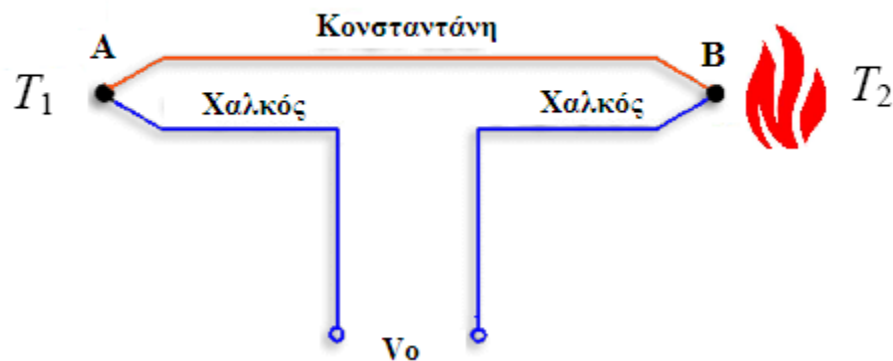
Τύποι θερμοζευγών

Τύπος θερμοζεύγους	Πολικότητα		Διεθνές πρότυπο IEC 584	Αμερικάνικο πρότυπο ANSI MC 96.1	Αγγλικό πρότυπο BS1843:1952	Γερμανικό πρότυπο DIN 43714	Ιαπωνικό πρότυπο JIC 1610-1981	Γαλλικό πρότυπο NFE-18001
	+	-						
T	+	Χαλκός						
	-	Κοσταντάνη						
J	+	Σίδηρος						
	-	Κοσταντάνη						
K	+	Chromel						
	-	Alumel						
E	+	Chromel						
	-	Κοσταντάνη						
R	+	Πλατίνα/Ρόδιο						
	-	Πλατίνα						
S	+	Πλατίνα/ Ρόδιο						
	-	Πλατίνα						

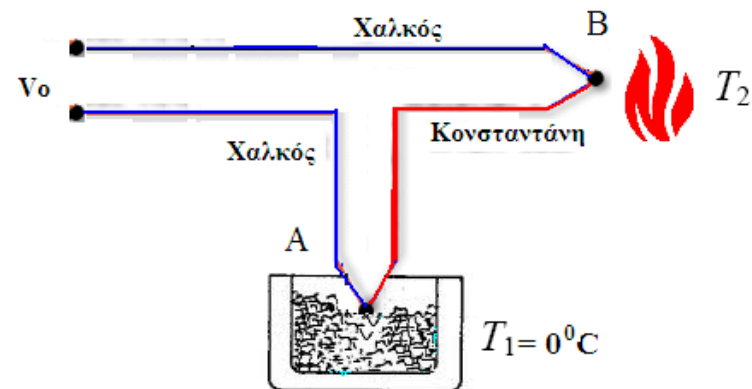
Μεταβολή συντελεστή Seebeck και θερμοκρασίας για θερμοζεύγη



Τεχνικές μέτρησης με θερμοζεύγος

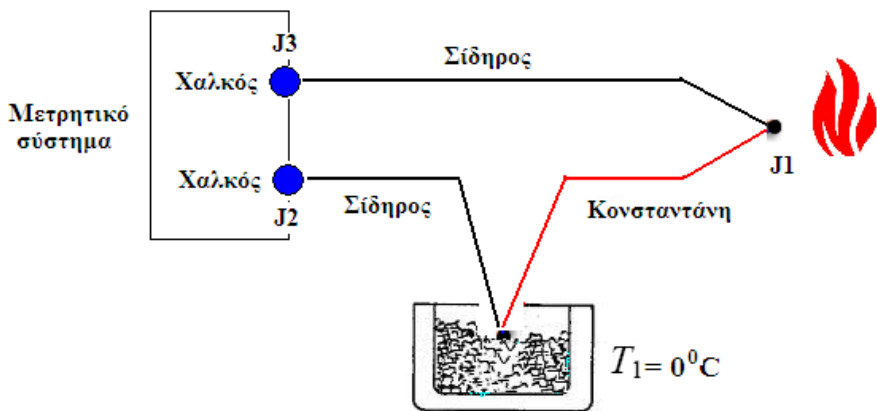


Θερμοζεύγος δύο θερμικών επαφών

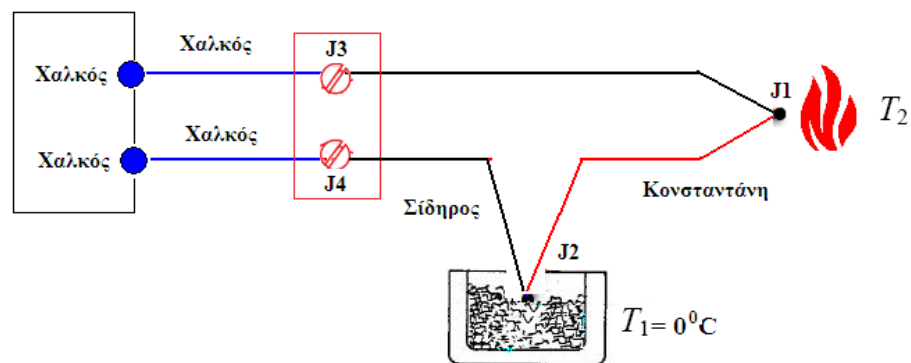
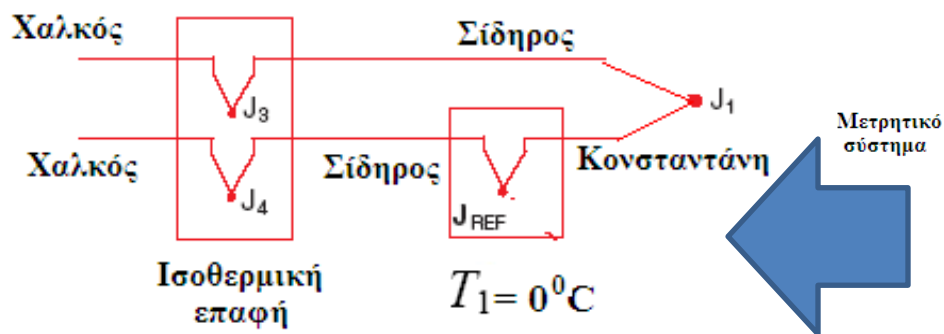


Θερμοζεύγος με λουτρό πάγου στην επαφή αναφοράς

Τεχνικές μέτρησης με θερμοζεύγος Σιδήρου-Κωνσταντάνης



Για τη βελτίωση του σφάλματος απαιτείται η απομάκρυνση των επαφών σύνδεσης J2 και J3

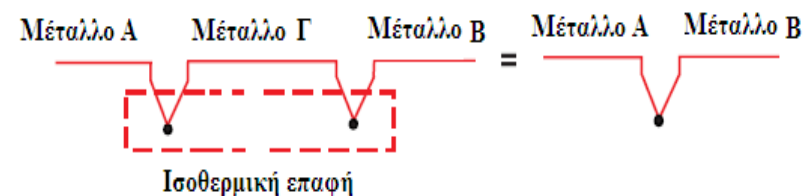
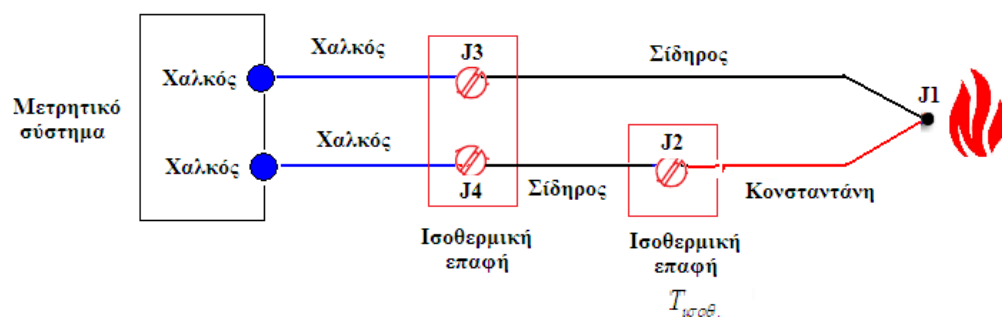


Θερμοηλεκτρικό ισοδύναμο επαφών σιδήρου-κωνσταντάνης με ισοθερμική επαφή και λουτρό πάγου

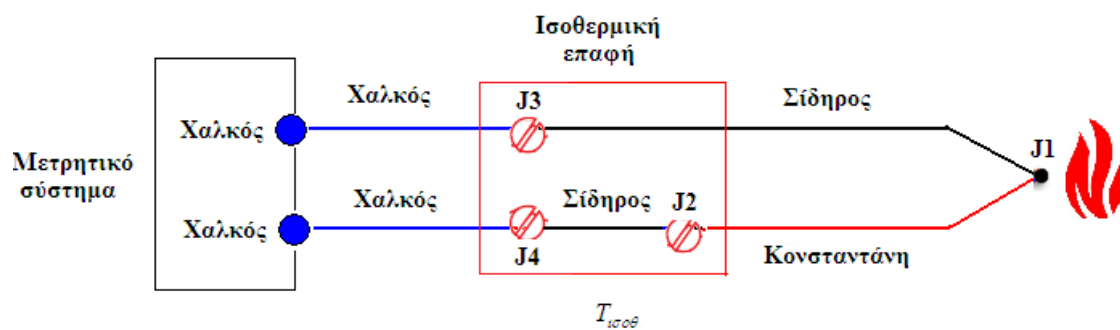
Τεχνικές μέτρησης με θερμοζεύγος Σιδήρου-Κωνσταντάνης

Η χρήση της δεύτερης ισοθερμικής βάσης δημιουργήσει τάση Seebeck στην είσοδο του μετρητικού συστήματος η οποία δίνεται από τη θερμοκρασία στο σημείο μέτρησης και τη θερμοκρασία της ισοθερμικής επαφής:

$$dV == S \cdot (T_2 - T_{ισοθ.})$$



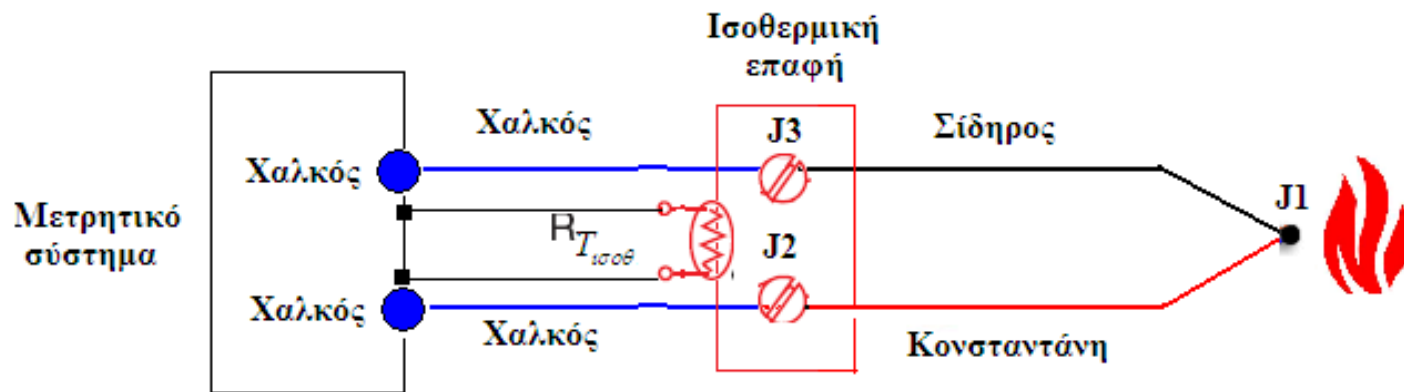
Θερμοζεύγος σιδήρου-κωνσταντάνης με δύο ισοθερμικές επαφές.



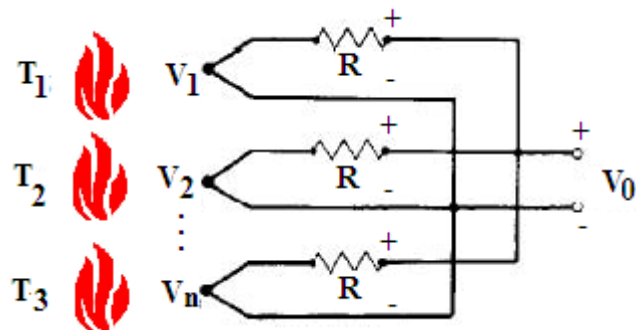
Θερμοζεύγος σιδήρου-κωνσταντάνης με κοινή ισοθερμική επαφή

Μέτρηση θερμοκρασίας με μία θερμική επαφή

Θερμοζεύγος σιδήρου-κοσταντάνης με αισθητήρα για μέτρηση της θερμοκρασίας της ισοθερμικής επαφής

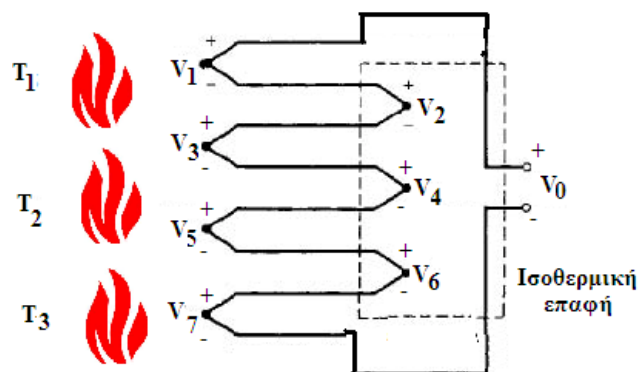


Συστοιχίες κυκλωμάτων θερμοζευγών



Παράλληλη συνδεσμολογία θερμοζευγών

$$V_o = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n}$$

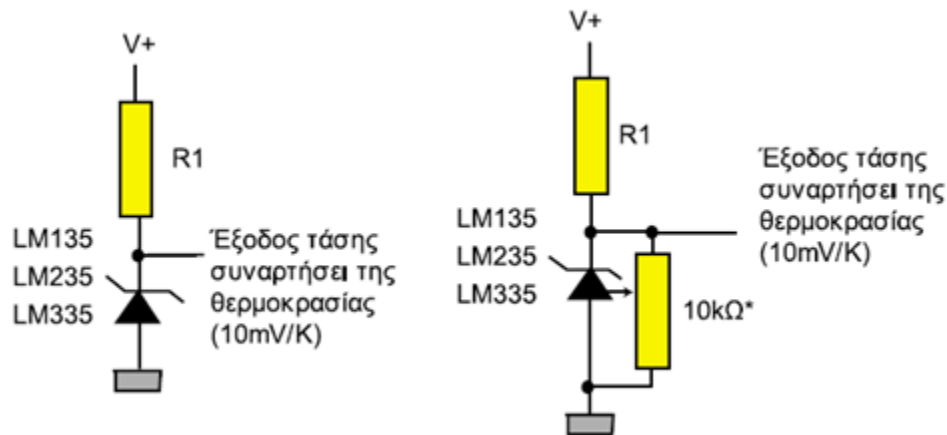


Συνδεσμολογία θερμοζευγών σε σειρά

$$V_o = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7$$

Αισθητήρες θερμοκρασίας στερεάς κατάστασης

Συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου LM135, LM235 και LM335

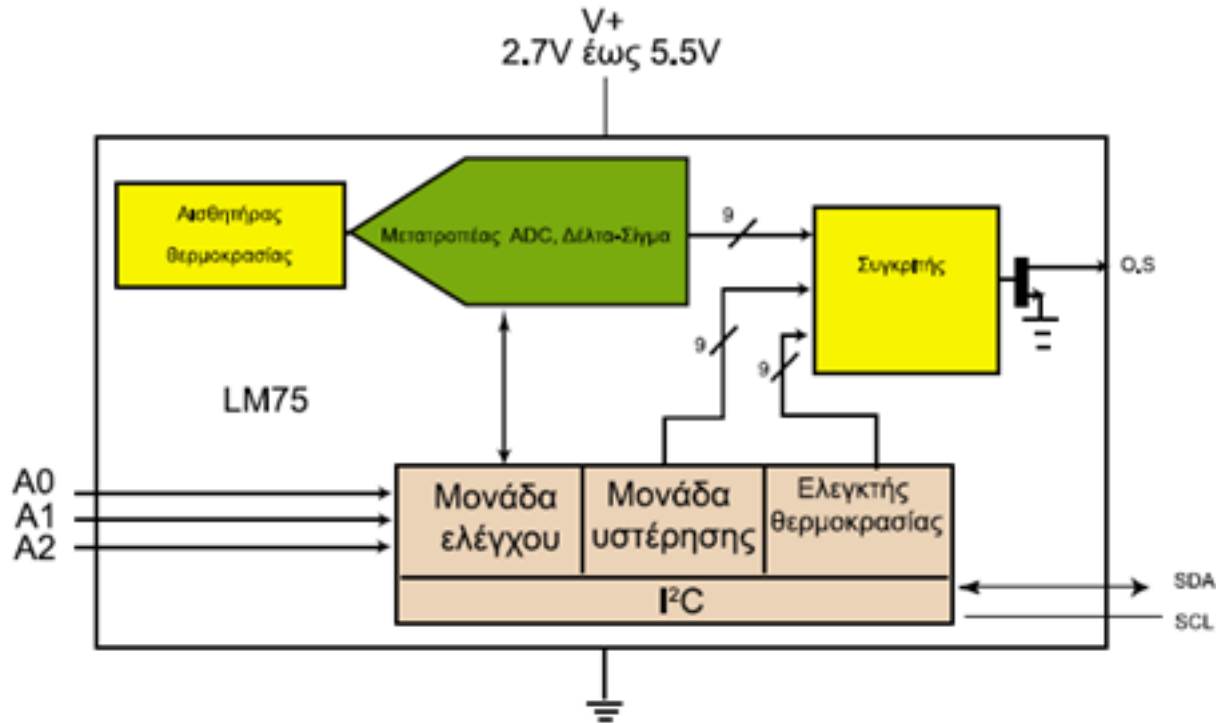


Τύπος	Μετρήσιμο πεδίο θερμοκρασίας (°C)
LM-135	-55...+150
LM-235	-40...+125
LM-335	-10...+100

Οι αισθητήρες LM135, LM235 και LM335 παράγουν τάση εξόδου ανάλογη της θερμοκρασίας:

$$V_{out} = 10 \frac{mV}{K} \cdot T \cdot n$$

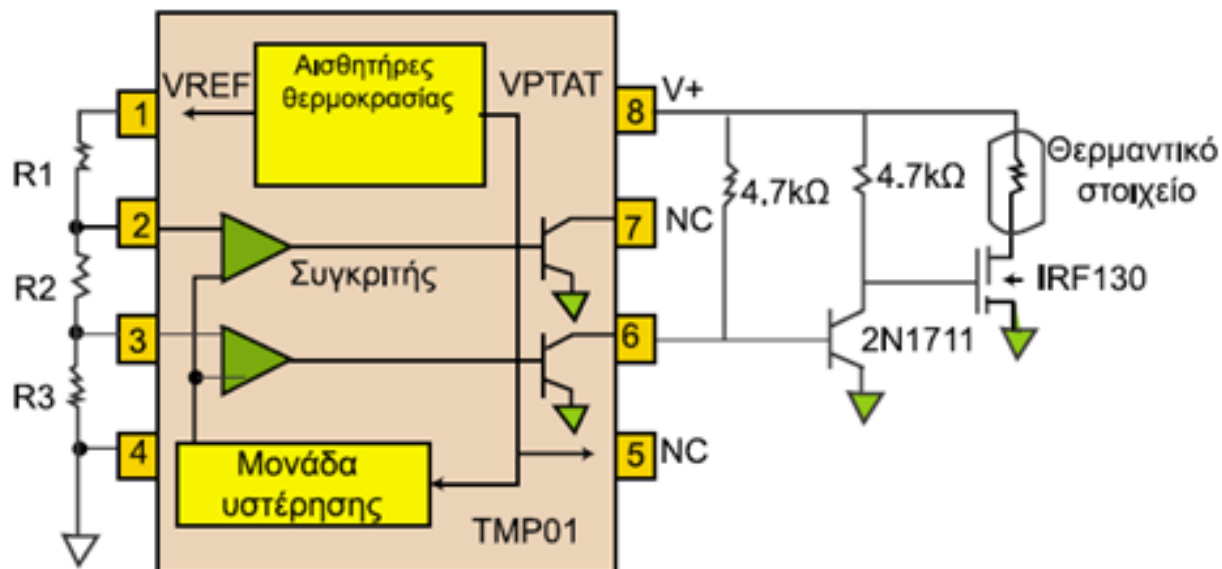
Ολοκληρωμένα κυκλώματα θερμοκρασίας με ψηφιακό ελεγκτή



Ολοκληρωμένο LM75 με ενσωματωμένα κυκλώματα γραμμικοποίησης και μονάδα A/D για ψηφιοποίηση δεδομένων

Ολοκληρωμένα κυκλώματα θερμοκρασίας με ψηφιακό ελεγκτή

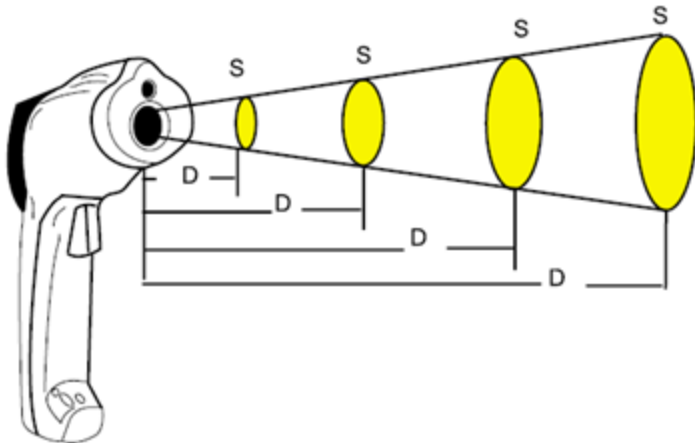
Ολοκληρωμένο κύκλωμα μέτρησης θερμοκρασίας με αναλογικά σήματα ελέγχου



Θερμόμετρα ακτινοβολίας

Μέθοδος μέτρησης με πυρόμετρο

- Ορίζουμε ως οπτική διακριτική ικανότητα το πηλίκο της απόστασης του οργάνου από το αντικείμενο προς τη διάμετρο της περιοχής μέτρησης.
- Πρακτικά επιλέγουμε να τοποθετήσουμε το υπέρυθρο θερμόμετρο σε απόσταση που εξασφαλίζει λόγο 6:1, 8:1 και για μεγαλύτερη ακρίβεια 12:1 ή 50:1.



$$\text{optical resolution} = \frac{D}{S}$$

Ακουστικό θερμόμετρο

Τα ακουστικά θερμόμετρα βασίζουν τη λειτουργία τους στο γεγονός ότι η ταχύτητα του ήχου μέσα σε ένα αέριο αλλάζει με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τον τύπο:

$$u = \sqrt{\frac{\alpha RT}{M}}$$

όπου,

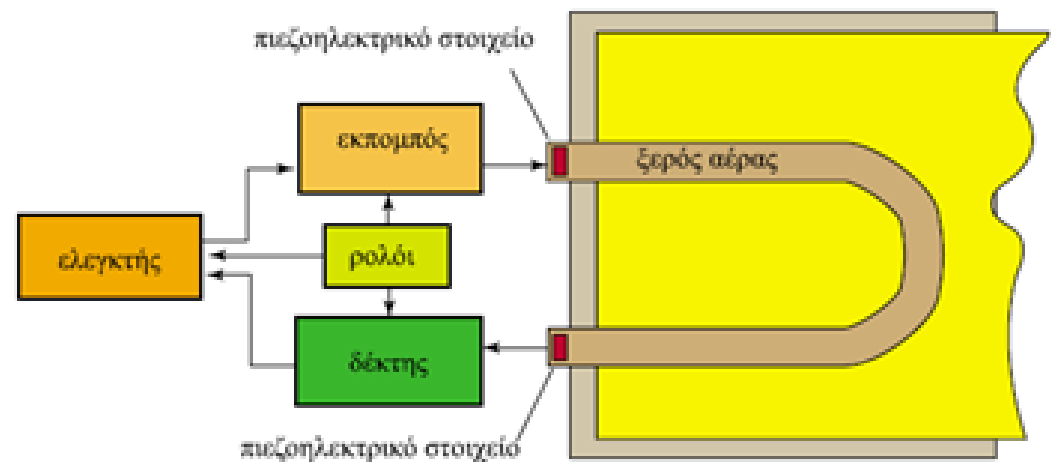
u : η ταχύτητα του ήχου,

T : η θερμοκρασία του αερίου,

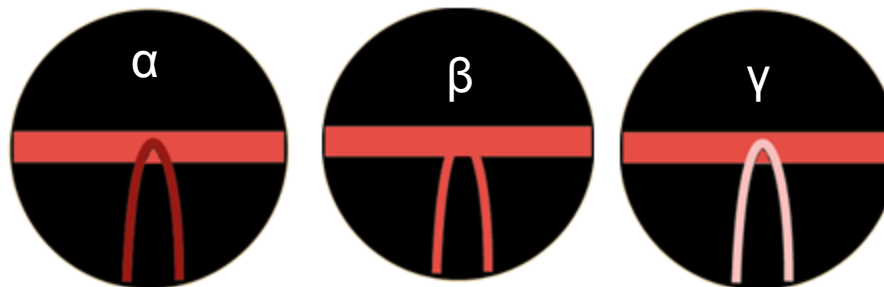
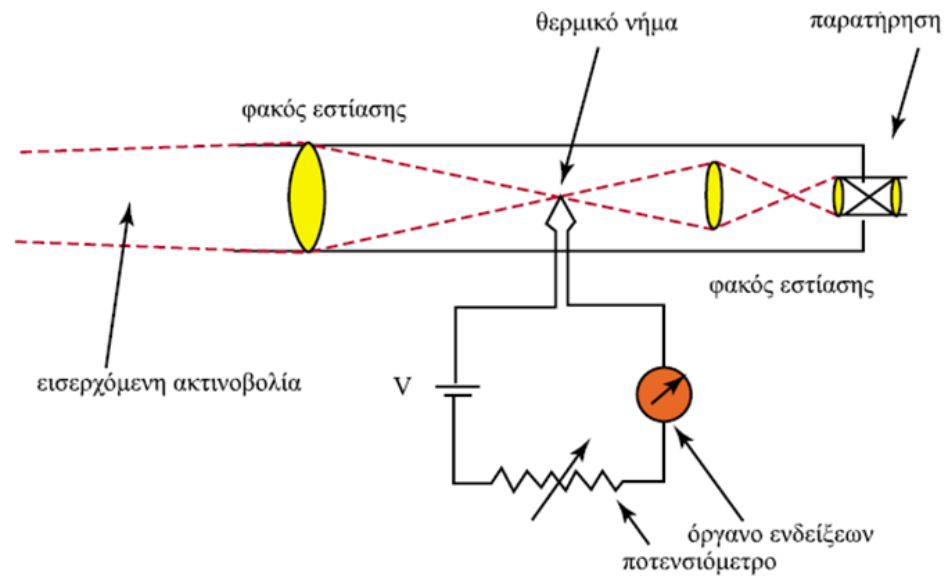
M : το μοριακό βάρος του αερίου,

και

α , R : σταθερές υλικού.



Οπτικό πυρόμετρο



α) Η θερμοκρασία του αντικειμένου είναι πιο χαμηλή από το πυρακτωμένο νήμα, β) η θερμοκρασία του αντικειμένου είναι ίση από το πυρακτωμένο νήμα, και γ) η θερμοκρασία του αντικειμένου είναι υψηλότερη από το πυρακτωμένο νήμα.

Ερωτήσεις

