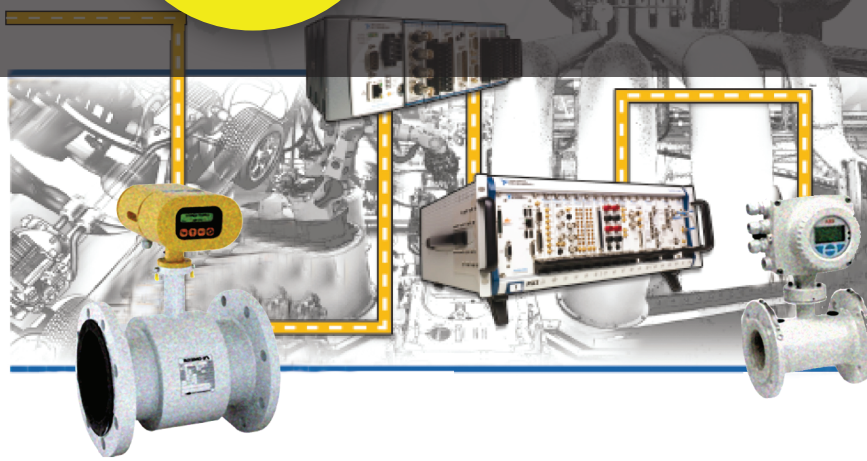
Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου

συνδεδεμένο περιεχόμενο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΜΕΤΡΗ

Σχεδίαση &
Συστήματων Μετ
Συστημάτων Σ
Δεδομένων

Q R
biblio



2η Έκδοση
Νέα βελτιωμένη Έκδοση

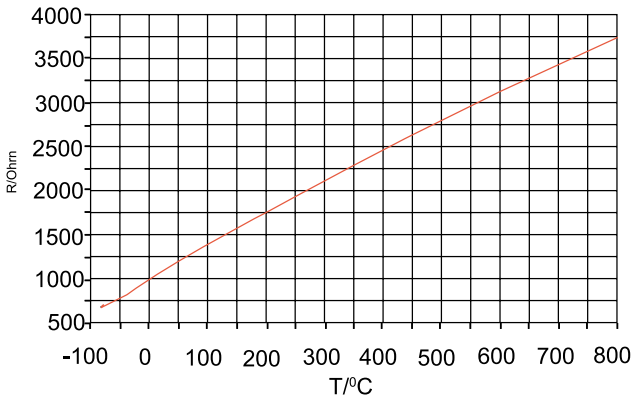
Κωνσταντίνος Καλοβρέκτης
Νικόλαος Κατέβας

ΤΖΙΟΛΑ
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

5.9.4 Αισθητήρες θερμοκρασίας PT1000

Ένας αισθητήρας PT1000 παρουσιάζει αντίσταση 1000 Ω στους 0 °C. Αν επιθυμούμε μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα με μεγαλύτερη ευαισθησία από τον PT100 που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον αισθητήρα PT1000. Ο αισθητήρας αυτός είναι ίδιος με τον PT100 με τη μόνη διαφορά πως είναι 10 φορές πιο ευαίσθητος σε μεταβολές της θερμοκρασίας. Δηλαδή στην περίπτωση που ένας αισθητήρας PT100 έχει μεταβολή αντίστασης 0,420 Ω για μεταβολή θερμοκρασία T, ο αισθητήρας PT1000 στην αντίστοιχη μεταβολή θερμοκρασίας T θα έχει μεταβολή αντίστασης 4,20 Ω. Στο Σχήμα 5.25 απεικονίζεται η γραφική παράσταση μεταβολής της αντίστασης του αισθητήρα PT1000 συναρτήσει της θερμοκρασίας. Ο Πίνακας 5.8 παρουσιάζει τις τιμές της αντίστασης του αισθητήρα PT1000 για μεταβολή θερμοκρασίας ανά 100 βαθμούς Κελσίου από –200 °C έως 800 °C. σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο. Εξωτερικά ένας αισθητήρας PT1000 είναι πανομοιότυπος με τον αισθητήρα PT100.

PT1000



Σχήμα 5.25 Διάγραμμα μεταβολής της αντίστασης του PT1000 με τη θερμοκρασία.

Πίνακας 5.8: Τιμές αντίστασης PT1000 ανά 100 °C.

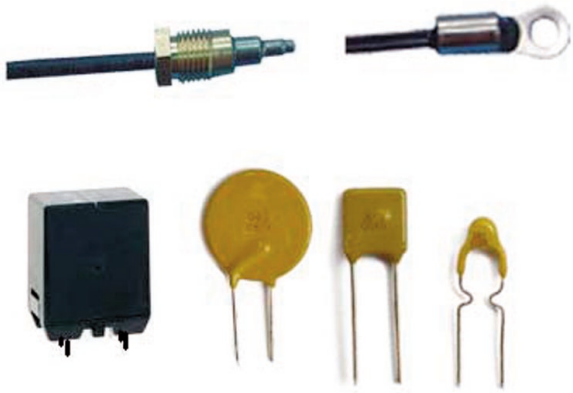
Θερμοκρασία (°C)	*Αντίσταση (Ω)*
-200	180,53
-100	600,20
0	1000,00
+100	1380,50
+200	1750,84
+300	2120,03
+400	2470,06
+500	2800,93
+600	3130,65
+700	3450,61
+800	3750,67

5.10 Θερμίστορ

Ο όρος θερμίστορ είναι ένας συνδυασμός των όρων θερμότητα και αντίσταση (thermal/resistor) και θα μπορούσε να αποδοθεί και ως θερμοαντιστάτης. Τα θερμίστορ κατασκευάζονται από υλικά ημιαγωγών που έχουν υποστεί επεξεργασία με οξείδια χρωμίου, κοβαλτίου, σιδήρου, μαγγανίου και νικελίου. Η μορφή τους ποικίλει από δισκίδια και κάψουλες μέχρι και στυλίσκους (Σχ. 5.26). Μπορούν να έχουν μικρό μέγεθος και εμφανίζουν μικρούς χρόνους απόκρισης.

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

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



Σχήμα 5.26 Τυπικά δείγματα θερμίστορ.

όπου,

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 3000 έως 5000 K.

Τα θερμίστορ που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση καλούνται θερμίστορ αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας NTC (Negative Temperature Coefficient, NTC). Στο διάγραμμα στο Σχήμα 5.27 φαίνεται η μη γραμμική μεταβολή του λόγου R_{TH} / R_{REF} με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Με κατάλληλες μορφές προσμίξεων κατασκευάζονται θερμίστορ με θετικό θερμικό συντελεστή. Τα θερμίστορ αυτά καλούνται θερμίστορ θετικού συντελεστή θερμοκρασίας PTC (Positive Temperature Coefficient). Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.28 παρουσιάζεται έντονα η μη γραμμική μεταβολή του μεγέθους της αντίστασης του PTC θερμίστορ με τη θερμοκρασία.

Με όμοιο τρόπο με τα θερμίστορ αρνητικού θερμικού συντελεστή και τα θερμίστορ θετικού θερμικού συντελεστή παρουσιάζουν μη γραμμική μεταβολή της αντίστασης του θερμίστορ με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η σχέση ανάμεσα στην αντίσταση και τη θερμοκρασία των θερμίστορ δίνεται από την πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart:

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1 \ln(R) + \ldots + A_n \ln(R)^n$$

όπου,

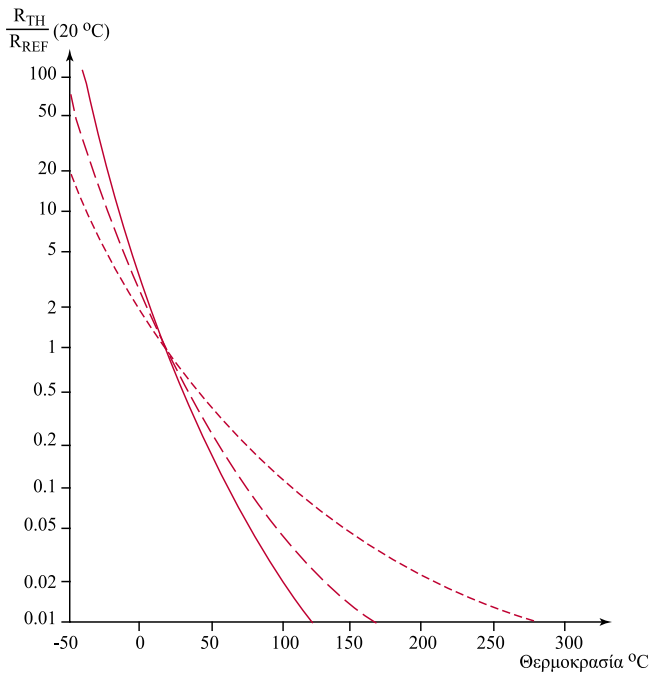
R: η αντίσταση (Ω) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C),

T: η θερμοκρασία (K) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C), και

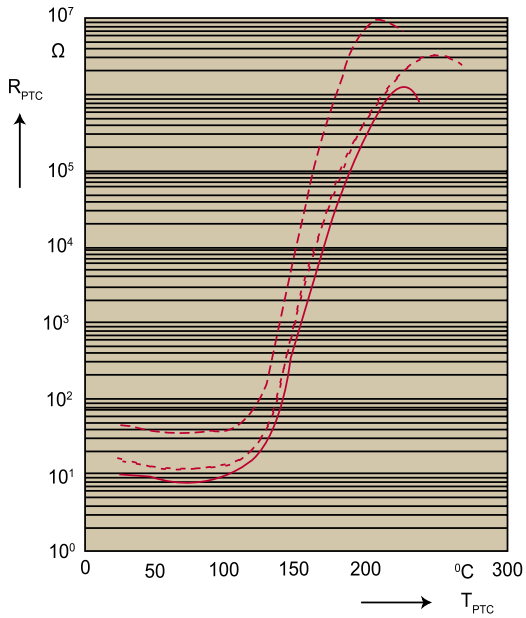
A: πολυωνυμικές *σταθερές* του θερμίστορ (K^{-1}).

Στην πράξη χρησιμοποιούμε την πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart τριών όρων:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot \ln(R)^3$$



Σχήμα 5.27 Διάγραμμα μεταβολής του λόγου R_{TH}/ R_{REF} σε θερμίστορ NTC με τη θερμοκρασία.



Σχήμα 5.28 Διάγραμμα μεταβολής της αντίστασης PTC θερμίστορ με τη θερμοκρασία για τρία διαφορετικά στοιχεία.

όπου,

R: η αντίσταση (Ω) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C),
T: η θερμοκρασία (K) σε θερμοκρασία αναφοράς (20°C), και
A, *B* και *C*: οι συντελεστές του θερμίστορ (K^{-1}).

Η εξίσωση δεν είναι ακριβής για ολόκληρο το πεδίο θερμοκρασιών, αλλά μόνο για *ζώνες* θερμοκρασιών. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικοί συντελεστές *A*, *B* και *C* σε κάθε ζώνη μέτρησης θερμοκρασίας. Μια απλούστερη έκφραση της εξίσωσης Steinhart & Hart μπορεί να έχει την μορφή:

$$T = \frac{B}{\ln(R) - A} - C$$

Ο προσδιορισμός των συντελεστών *A*, *B* και *C* γίνεται ως εξής:

1. Επιλέγονται τρία σημεία από το διάγραμμα αντίστασης /θερμοκρασίας του θερμίστορ τα οποία ανταποκρίνονται στη μέση τιμή λειτουργίας χαμηλής, μεσαίας και υψηλής θερμοκρασίας.
   - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_1) σε τιμή θερμοκρασίας T_1 (253 K/–20°C)
   - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_2) σε τιμή θερμοκρασίας T_2 (283K/+10°C)
   - Τιμή αντίστασης του θερμίστορ (R_3) σε τιμή θερμοκρασίας T_3 (313K/+40°C)

2. Δημιουργούμε τους πίνακες των παραγόμενων εξισώσεων Steinhart & Hart για R_1, R_2, R_3 και T_1, T_2, T_3.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A + B\ln R_1 + C\left(\ln R_1\right)^3 \\ A + B\ln R_2 + C\left(\ln R_2\right)^3 \\ A + B\ln R_3 + C\left(\ln R_3\right)^3 \end{bmatrix}$$

ο οποίος ισοδυναμεί με:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} \\ \frac{1}{T_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \ln R_1 & \left(\ln R_1\right)^3 \\ 1 & \ln R_2 & \left(\ln R_2\right)^3 \\ 1 & \ln R_3 & \left(\ln R_3\right)^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

$$(A) \quad = \quad (B) \quad \cdot \quad (x)$$

και καταλήγουμε σε εξίσωση της μορφής :

$$A = B \cdot x$$

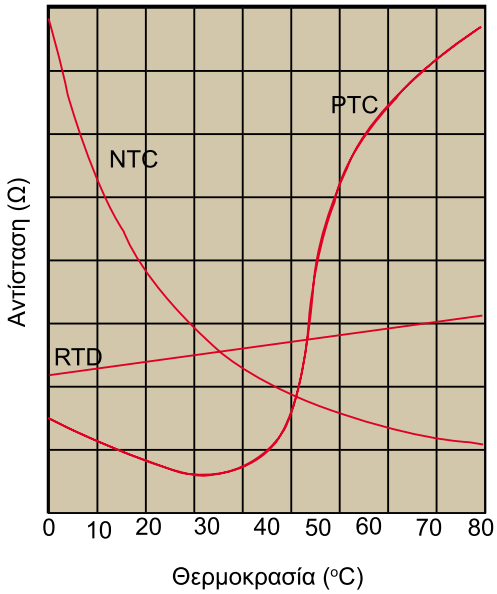
3. Με αντικατάσταση των γνωστών μεγεθών R_1, R_2, R_3 και T_1, T_2, T_3 μπορεί να λυθεί το σύστημα για τους συντελεστές *A*, *B* και *C*.

Συνήθως οι συντελεστές *A*, *B* και *C* δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία του θερμίστορ με προσδιορισμό των ζωνών μετρήσιμης θερμοκρασίας και της κλίσης της καμπύλης. Στον πίνακα 5.9 παριστάνονται οι συντελεστές A,B και *C* για τύπους καμπυλών των θερμίστορ από την Cornerstone Sensors τους οποίους μπορούμε να τους βρούμε στη διεύθυνση http://www.cornerstonesensors.com.

Πίνακας 5.9: Συντελεστές A, B και C για θερμίστορ από την Cornerstone Sensors.

R/T	*Θερμοκρασία (°C)*	*Συντελεστής εξίσωσης Steinhart-Hart*		
		A	**B**	**C**
B	–50 έως 0	1,439114856904070E–03	2,693066430764570E–04	1,65344095855457OE–07
	0 έως 50	1,440548920932420E–03	2,690725842060890E–04	1,661922621891600E–07
	50 έως 125	1,440327988425520E–03	2,690459927836250E–04	1,679441362548790E–07
D	–50 έως 0	1,133136854163360E–03	2,336519292538650E–04	8,849976714136810E–07
	0 έως 50	1,124974037152450E–03	2,347653241229690E–04	8,546325084516770E–08
	50 έως 100	1,119828875495430E–03	2,360897740308300E–04	7,50829955094671OE–08
	100 έως 150	1,120748323248730E–03	2,353531346746540E–03	8,909503408745950E–08
E	–50 έως 0	9,329599574968520E–04	2,214235932652170E–04	1,263286697870110E–07
	0 έως 50	9,327935342661280E–04	2,214507360140700E–04	1,262325823098370E–07
	50 έως 100	9,315712556993570E–04	2,216946671543180E–04	1,249321433697330E–07
	100 έως 150	9,266934080778390E–04	2,228124367891810E–04	1,167171733506130E–07
F	–50 έως 0	1,028525291852400E–03	2,392327985577990E–04	1,562478971912460E–07
	0 έως 50	1,029194767422500E–03	2,391275183977950E–04	1,566277149730310E–07
	50 έως 100	1,028687651810930E–03	2,391866941635480E–04	1,566594211560540E–07
	100 έως 150	1,026416673809340E–03	2,397397615551010E–04	1,518913935501530E–07
G	–40 έως 0	8,630777018579910E–04	1,999086501945880E–04	1,244201049853700E–07
	0 έως 50	8,436437679500710E–04	2,021008350641180E–04	1,203143775299850E–07
	50 έως 100	8,331470500361880E–04	2,032624244467480E–04	1,188714921067930E–07
	100 έως 150	8,169484569941060E–04	2,027581789631380E–04	1,217977002958560E–07
R	–50 έως 0	8,312653413479670E–04	2.083082877047050E–04	8,162433729410980E–08
	0 έως 50	8,274918692383500E–04	2,087547277229870E–04	8,069870440386500E–08
	50 έως 100	8,252715954912970E–04	2,090759654020190E–04	7,970254981668580E–08
	100 έως 150	8,169484569941060E–04	2,105821263402370E–04	7,242814459308220E–08
V	–50 έως 0	1,912033993648160E–03	3,064159978007270E–04	2,861356543672190E–07
	0 έως 50	1,938993181772380E–03	3,004098484042120E–04	3,234005399703990E–07
	50 έως 100	1,953893905132090E–03	2,945939434912480E–04	4,609116815442370E–07
W	–50 έως 0	1,328734000368390E–03	2,871918721144560E–04	1,257114168390270E–07
	0 έως 50	1,328156656857180E–03	2,873061594285200E–04	1,250512619348640E–07
	50 έως 100	1,300117357404990E–03	2,943269678705660E–04	5,985964560607700E–08

Στο Σχήμα 5.29 απεικονίζεται προς σύγκριση η καμπύλη μεταβολής της αντίστασης με τη θερμοκρασία για τα στοιχεία RTD, NTC και PTC. Όπως παρατηρούμε από το σχήμα, τα στοιχεία PTC και NTC παρουσιάζουν έντονη μη γραμμικότητα σε σχέση με το στοιχείο RTD.



Σχήμα 5.29: Διάγραμμα μεταβολής μεγέθους αντίστασης με τη θερμοκρασία για RTD, NTC και PTC.

Παράδειγμα 5.6

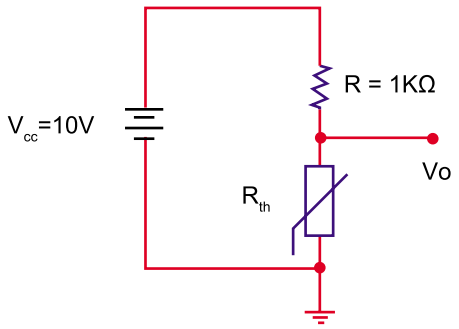
Θερμίστορ παρουσιάζει αντίσταση 1KΩ σε θερμοκρασία αναφοράς 22°C. Να υπολογίσετε την τάση εξόδου του παρακάτω κυκλώματος όταν η θερμοκρασία μεταβληθεί κατά 20°C. Ο συντελεστής βαθμονόμησης του θερμίστορ είναι 3000K.

Λύση

Από τη σχέση $R_{TH} = R_{REF} e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}}\right)}$ υπολογίζουμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ.

Το κύκλωμα αποτελεί έναν διαιρέτη τάσης, οπότε υπολογίζουμε την τάση V_0 από τη σχέση:

$$V_o = \frac{R_{TH}}{R + R_{TH}} V_{CC}$$



5.10.1 Εργαστηριακή Εφαρμογή 1: Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο με στοιχείο θερμίστορ

Στην εργαστηριακή εφαρμογή χρησιμοποιώντας το θερμίστορ NTC B57861 της με αντίσταση R = 10KΩhm στους 25 °C δημιουργούμε ένα αυτόματο σύστημα καταγραφής της μέτρησης της θερμοκρασίας σε πραγματικό χρόνο με το λογισμικό LabVIEW και την συσκευή ELMI.

Δίνονται οι συντελεστές *A*, *B* και *C* του θερμίστορ:

$$A = 0{,}004454716$$
$$B = 0{,}000444961$$
$$C = 2{,}332199E{-}6$$

Θερμίστορ NTC B57861

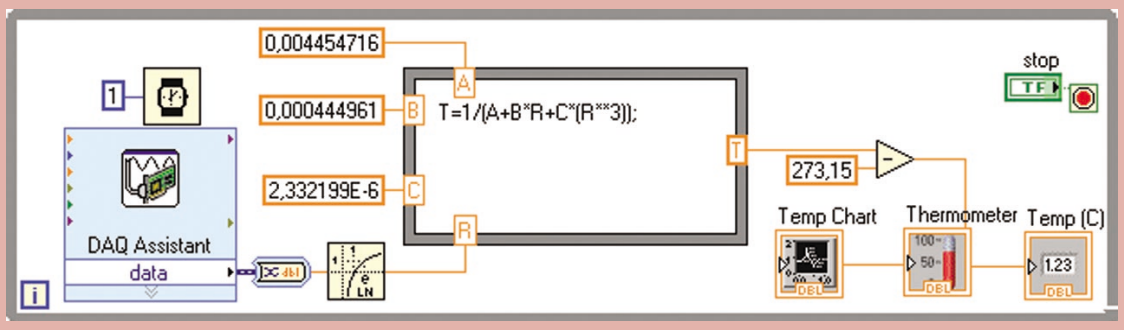
Εργασίες

1. Κατασκευάζουμε διαιρέτη τάσης για να αποκτήσουμε τη μεταβαλλόμενη με τη θερμοκρασία τιμή της τάσης.

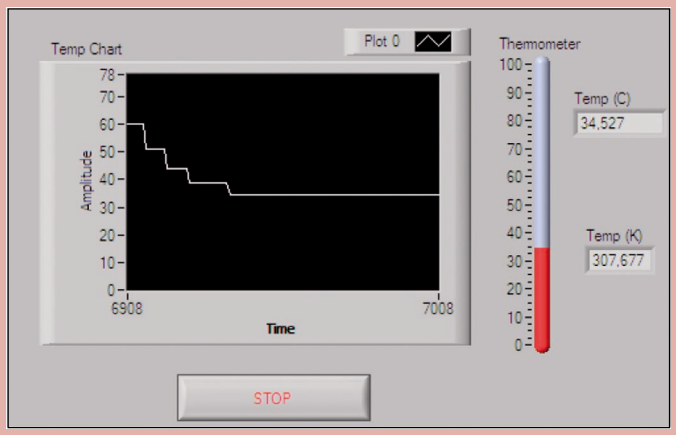
2. Σχεδιάζουμε το block diagram και το front panel στο περιβάλλον του LabVIEW όπως απεικονίζεται πιο κάτω. Μέσα στο περιβάλλον της Formula Node εισάγουμε τους συντελεστές *A*, *B* και *C* του θερμίστορ στην εξίσωση Steinhart & Hart. Τέλος μετατρέπουμε τους βαθμούς Κέλβιν σε Κελσίου και εξάγουμε το αποτέλεσμα στο καταγραφικό Chart και Indicator.

Εργασίες

Block diagram



Front panel



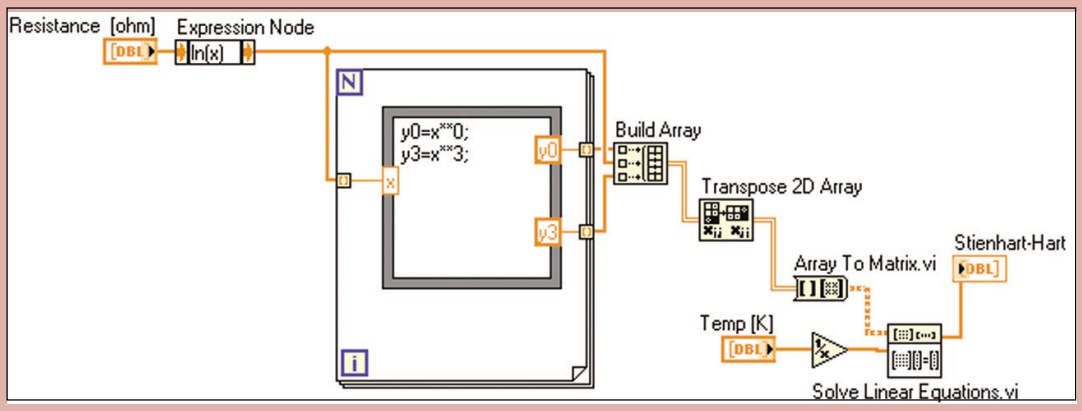
5.10.2 Εργαστηριακή Εφαρμογή 2: Ανάπτυξη κώδικα υπολογισμού συντελεστών Steinhart & Hart για άγνωστο στοιχείο θερμίστορ

Στην εργαστηριακή εφαρμογή δημιουργούμε κώδικα για την εύρεση των συντελεστών Steinhart & Hart για άγνωστο στοιχείο θερμίστορ.

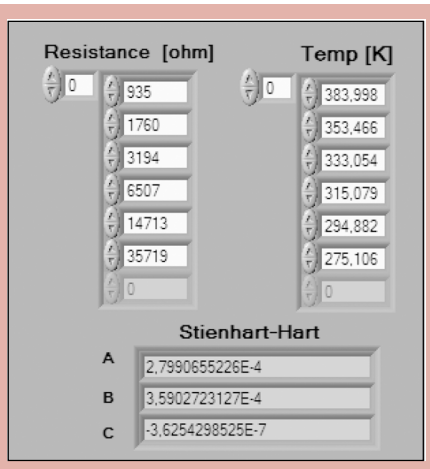
Εργασίες

1. Για την εξαγωγή των τιμών μετράμε την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ για διαφορετικές τιμές θερμοκρασιών. Το πλήθος των μετρήσεων αυξάνει την ακρίβεια του υπολογισμού των συντελεστών.

2. Κατασκευάζουμε τον κώδικα στο περιβάλλον LabVIEW όπως αυτό απεικονίζεται:



3. Εισάγουμε της τιμές του βήματος 1 σε μορφή πίνακα στο front panel του κώδικα.



4. Εκκινούμε το εικονικό όργανο και λαμβάνουμε του συντελεστές A,B και C του άγνωστου στοιχείου θερμίστορ.

5.11 Θερμοζεύγος

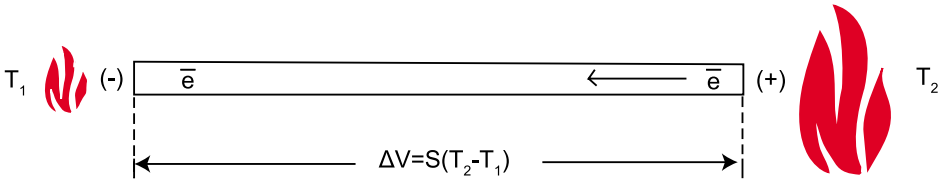
5.11.1 Φαινόμενο Seebeck

Το 1821 ο T.J. Seebeck ανακάλυψε ότι θερμαίνοντας ένα μέταλλο που οι δύο άκρες του βρίσκονται σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα $T_2 > T_1$ αναπτύσσεται μικρή διαφορά δυναμικού dV λόγω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου (thermoelectricity), ή αλλιώς του φαινομένου Seebeck. Κατά το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, τα ηλεκτρόνια του μεταλλικού αγωγού που βρίσκονται στο υψηλό θερμοκρασιακό περιβάλλον T_2 διαχέονται προς την περιοχή η οποία εκτίθεται στη θερμοκρασία T_1 λόγω της υψηλής τους ενεργειακής στάθμης (Σχ.5.30). Η διαφορά δυναμικού που δίνεται από τη σχέση:

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

όπου,

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



Σχήμα 5.30: Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο (T_2>T_1).

Ο συντελεστής Seebeck αποτελεί έκφραση των ενεργειακών μεταβολών των ηλεκτρονίων και δίνεται από τη σχέση:

$$S \approx -\frac{2\pi^2 k\left(\frac{1}{2}kT\right)}{3eE_f}$$

όπου,

E_f: η ενέργεια Fermi.

Στον πίνακα 5.10 που ακολουθεί αναγράφεται ο συντελεστής Seebeck για τυπικά υλικά σε θερμοκρασία 0^oC.