

# 31

## Αισθητήρες Θερμοκρασίας

### 31.1 Θερμίστορ

#### 31.1.1 Η εξίσωση Steinhart & Hart

Η τιμή του συντελεστή της βαθμονόμησης του θερμίστορ  $\beta$  ορίζει τον παράγοντα ευαισθησίας του θερμίστορ. Έναν πιο ακριβέστερο προσδιορισμό του παράγοντα ευαισθησίας του θερμίστορ αποτελεί η παρακάτω πολυωνυμική εξίσωση Steinhart & Hart

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1 \ln R + \dots + A_n \ln R^n \quad \text{και} \quad \beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

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

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln R + C \cdot \ln R^3 \quad \text{οπότε μέσω της Steinhart & Hart τριών όρων έχουμε} \quad T = \frac{B}{\ln(R) - A} - C$$



#### Παράδειγμα 31.1

##### Εύρεση τιμών των συντελεστών Steinhart & Hart

Να υπολογιστούν οι τιμές των συντελεστών Steinhart & Hart ( $A$ ,  $B$  και  $C$ ) για θερμίστορ το οποίο φέρει τις παρακάτω τιμές αντίστασης για  $R_1$ ,  $R_2$ , και  $R_3$  για τιμές θερμοκρασίας  $T_1$ ,  $T_2$ , και  $T_3$ . Στη συνέχεια να δημιουργήσετε την καμπύλη  $T_{f(R)}$  του θερμίστορ.

Αντίσταση ( $\Omega$ m)	Θερμοκρασία ( $^{\circ}$ C)
$R_1 = 22800$	$T_1 = 5$
$R_2 = 12450$	$T_2 = 25$
$R_3 = 8230$	$T_3 = 35$

**Προγραμματισμός MATLAB**

**Βήμα 1:** Εισάγουμε τους συντελεστές της χαρακτηριστικής εξίσωσης.

Εκκαθάριση δεδομένων & παραθύρων	<pre>clear all clc</pre>
Επιστημονική έκφραση αριθμών	<pre>format longE</pre>
Είσοδος μεταβλητών	<pre>R1=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm): '); T1=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius): ');  disp('-----')  R2=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R2:(Ohm) '); T2=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius): ');  disp('-----')  R3=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R3:(Ohm) '); T3=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius): ');</pre>
Εξισώσεις γραμμικού συστήματος	<pre>A= [ 1 log(R1) ((log(R1))^3) ; 1 log(R2) ((log(R2))^3) ; 1 log(R3) ((log(R3))^3)];  B=[ (1/(T1+273.15)) ; (1/(T2+273.15)); (1/(T3+273.15))];</pre>
Εύρεση τιμών γραμμικού συστήματος	<pre>X = linsolve(A,B)</pre>

**Βήμα 2:** Από την εύρεση των τιμών δημιουργούμε το γράφημα  $T_f(R)$ .

Πίνακας παραμέτρων A, B, C	<pre>c = [ X(1) X(2) X(3) ];</pre>
Ορισμός πεδίου τιμών αντίστασης	<pre>R = 100:100:50000;</pre>
Υπολογισμός Θερμοκρασίας μέσω των συντελεστών A,B,C	<pre>T = 1./(c(1) + c(2)*log(R) + c(3)*log(R).^3) - 273.15;</pre>
Παραμετροποίηση γραφήματος	<pre>plot(T,R); title('Resistor/Temperature (Thermistor)') xlabel('Temperature(Celsius)') ylabel('Resistance(Ohm)') grid ON</pre>

**Παράδειγμα 31.2****Εύρεση συντελεστή ευαισθησίας  $\beta$** 

Να τροποποιήσετε τον κώδικα του προηγούμενου παραδείγματος, ώστε ο υπολογισμός της αντίστασης του στοιχείου θερμίστορ να γίνεται μέσω του συντελεστή ευαισθησίας  $\beta$ .

**Προγραμματισμός MATLAB**

Υπολογισμός του $\beta$	<pre>B = (log(R/R0)) / (((1)/(T+273.15)) - ((1)/(T0+273.15)))</pre>
Πεδίο τιμών θερμοκρασίας	<pre>T = -20:1:100;</pre>
Υπολογισμός αντίστασης	<pre>R = R0*exp(B*((1)/(T+273.15)) - (1/(T0+273.15)));</pre>

```

Δημιουργία γραφήματος
plot(T,R);
title('Resistor/Temperature (Thermistor)');
xlabel('Temperature(Celsius)');
ylabel('Resistance(Ohm)');
grid ON
    
```

**Παράδειγμα 31.3**  
**Σύγκριση των αποτελεσμάτων εύρεσης της τιμής του συντελεστή β του παραδείγματος 31.2 με το εγχειρίδιο του θερμίστορ NTCLE100E3 (για R25(150K)) από την εταιρία VISHAY**

Να συγκρίνετε τα αποτελέσματα του κώδικα όταν δεν είναι γνωστές οι τιμές των παραμέτρων β ή Α, Β και C του θερμίστορ και μας δίνονται δεδομένα αντίστασης και θερμοκρασίας από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

**Λύση**

**Βήμα 1:** Σύμφωνα με το εγχειρίδιο της VISHAY (με τον οποίο ελέγχουμε την ορθότητα του κώδικα) ο συντελεστής β δίνεται από τη σελίδα 2 με τιμή 4370K.

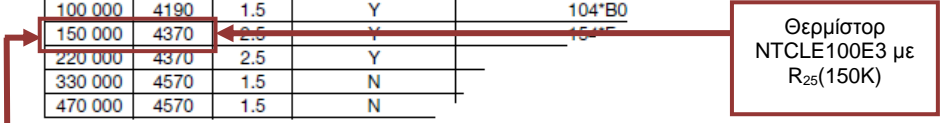


www.vishay.com

**NTCLE100E3**

Vishay BCcomponents

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION									
R <sub>25</sub> (Ω)	B <sub>25/85</sub> (K)	VALUE		UL APPROVED (Y/N)	SAP MATERIAL NUMBER NTCLE100E3...B0/T1/T2 (2)	OLD 12NC CODE 2381 640 3/4/6... (1)	COLOR CODE (3)		
		(± %)					I	II	III
470	3560	1.5		Y	471*B0	*471	Yellow	Violet	Brown
680	3560	1.5		Y	681*B0	*681	Blue	Grey	
1000	3528	0.5		Y	102*B0	*102	Brown	Black	
1500	3528	0.5		Y	152*B0	*152	Brown	Green	
2000	3528	0.5		Y	202*B0	*202	Red	Black	
2200	3977	0.75		Y	222*B0	*222	Red	Blue	
2700	3977	0.75		Y	272*B0	*272	Red	Black	
3300	3977	0.75		Y	332*B0	*332	Orange	Black	
4700	3977	0.75		Y	472*B0	*472	Yellow	Black	
5000	3977	0.75		Y	502*B0	*502			
6800	3977	0.75		Y	682*B0	*682			
10 000	3977	0.75		Y	103*B0	*103			
12 000	3740	2		Y	123*B0	*123			
15 000	3740	2		Y	153*B0	*153			
22 000	3740	2		Y	223*B0				
33 000	4090	1.5		Y	333*B0				
47 000	4090	1.5		Y	473*B0				
50 000	4190	1.5		Y	503*B0				
68 000	4190	1.5		Y	683*B0				
100 000	4190	1.5		Y	104*B0				
150 000	4370	2.5		Y	154*B0				
220 000	4370	2.5		Y					
330 000	4570	1.5		N					
470 000	4570	1.5		N					



Τιμή του συντελεστή β από τον κατασκευαστή

Τυπικά δείγματα θερμίστορ



**Βήμα 2:** Επιλέγουμε για είσοδο τιμών αντίστασης και θερμοκρασίας τις τιμές από τη σελίδα 13 του εγχειρίδιου της VISHAY.

For complete Curve Computation, visit: [www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/](http://www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/)

**RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH R<sub>25</sub> AT (150, 220, 330, 470) kΩ**

T <sub>OPER</sub> (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3							
	154***	224***	TCR (%/K)	ΔR/R DUE TO B <sub>tol.</sub> (%)	334***	474***	TCR (%/K)	ΔR/R DUE TO B <sub>tol.</sub> (%)
	R <sub>T</sub> (kΩ)	R <sub>T</sub> (kΩ)			R <sub>T</sub> (kΩ)	R <sub>T</sub> (kΩ)		
-40	6153	9024	-6.83	10.22	16 044	22 850	-7.14	6.41
-35	4394	6444	-6.64	9.24	11 282	16 068	-6.94	5.80
-30	3168	4646	-6.45	8.29	8013	11 413	-6.74	5.2
-25	2305	3381	-6.27	7.39	5747	8185	-6.55	4.
-20	1693	2483	-6.09	6.52	4161	5926	-6.37	
-15	1254	1839	-5.92	5.68	3040	4329	-6.19	
-10	936.4	1373	-5.75	4.88	2240	3190	-6.02	
-5	705.0	1034	-5.60	4.10	1665	2371	-5.85	
0	535.0	784.7	-5.44	3.36	1248	1777	-5.6 <sup>o</sup>	
5	409.1	600.0	-5.29	2.64	942.3	1342		
10	315.1	462.1	-5.15	1.94	717.1	1021		
15	244.4	358.4	-5.01	1.27	549.8	783.0		
20	190.8	279.9	-4.88	0.63	424.5	604.6		
25	150.0	220.0	-4.75	0.00	330.0	470.0		
30	118.6	174.0	-4.63	0.60	258.2	367		
35	94.42	138.5	-4.51	1.19	203.4	28		
40	75.58	110.9	-4.39	1.76	161.1			
45	60.85	89.24	-4.28	2.30	128.4			
50	49.25	72.24	-4.17	2.83	103.0			
55	40.08	58.78	-4.07	3.35	83.0			
60	32.78	48.08	-3.97	3.85	67			
65	26.94	39.51	-3.87	4.33				
70	22.25	32.63	-3.78	4.80				
75	18.46	27.07	-3.69	5.2				
80	15.38	22.56	-3.60					
85	12.87	18.88	-3.52					
90	10.82	15.87	-3.44					
95	9.129	13.39	-3					
100	7.732	11.34	-2.7					
105	6.574	9.642						
110	5.610	8.228						
115	4.804	7.046						
120	4.128							

T<sub>1</sub> και R<sub>1</sub>

T<sub>2</sub> και R<sub>2</sub>

T<sub>3</sub> και R<sub>3</sub>

**Βήμα 3:** Το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε από τον κώδικα του MATLAB είναι σύμφωνο με το εγχειρίδιο του στοιχείου.

```

Command Window

Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm): 150000
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius): 25
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R2 (Ohm): 12870
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius): 85
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R3 (Ohm): 7732
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius): 100

X =

    8.556438158395302e-004
    1.961544697190365e-004
    9.481899477123537e-008

cfB =

    4.370491136623537e+003
    
```

	374c	2
500	4090	1.5
7000	4090	1.5
50 000	4190	1.5
68 000	4190	1.5
100 000	4190	1.5
150 000	4370	2.5
220 000	4370	2.5
330 000	4570	1.5
470 000	4570	1.5

**Παράδειγμα 31.4**

Να δώσετε μέσω κώδικα τη γραφική σύγκριση των αποτελεσμάτων του μεγέθους της αντίστασης σε σχέση με το συντελεστή ευαισθησίας του θερμίστορ  $\beta$  και των συντελεστών της πολυωνυμικής εξίσωσης Steinhart & Hart.

**Λύση**

Εκκαθάριση δεδομένων και παραθύρων

```
clear all
clc
```

Επιστημονική έκφραση αριθμών

```
format longE
```

```
R1=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm) : ');
T1=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius) : ');
disp('-----')
```

```
R2=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R2 (Ohm) : ');
T2=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius) : ');
```

Είσοδος μεταβλητών

```
disp('-----')
R3=input ('Δώστε την τιμή της αντίστασης R3 (Ohm) : ');
T3=input ('Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius) : ');
```

Εξισώσεις γραμμικού συστήματος

```
A= [ 1 log(R1) ((log(R1))^3) ; 1 log(R2) ((log(R2))^3)
; 1 log(R3) ((log(R3))^3) ];
```

MATLAB



**linsolve:** Εύρεση τιμών γραμμικού συστήματος.

```
B=[ (1/(T1+273.15)) ; (1/(T2+273.15)); (1/(T3+273.15)) ];
```

```
X = linsolve(A,B)
```

Πίνακας παραμέτρων A, B, C

```
c = [ X(1) X(2) X(3) ];
```

Ορισμός πεδίου τιμών αντίστασης

```
R = 100:100:40000;
```

Υπολογισμός θερμοκρασίας με A,B,C

```
TR = 1./(c(1) + c(2)*log(R) + c(3)*log(R).^3) -
273.15;
```

Υπολογισμός συντελεστή  $\beta$

```
cfB = (log(R1/R2)) / (((1)/(T1+273.15)) -
((1)/(T2+273.15)))
```

Υπολογισμός θερμοκρασίας με  $\beta$

```
TRr=cfB./ (log(R/(R2*exp(-cfB./ (T2+273.15)))));
```

```
TRrC=TRr-273.15;
```

Μετατροπή μονάδων σε Κελσίου

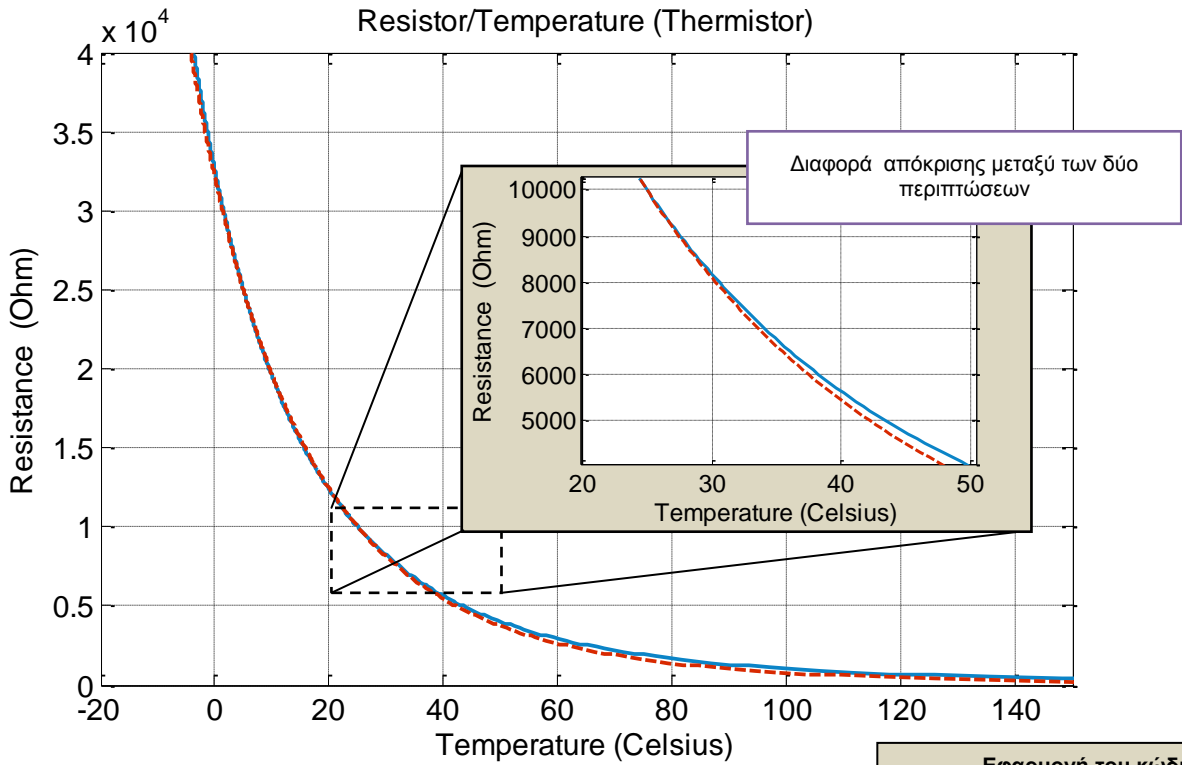
Δημιουργία γραφήματος plot(x,y ,x,z);

```
plot(TR,R ,TRrC,R );
title('Resistor/Temperature (Thermistor)')
xlabel('Temperature(Celsius)')
ylabel('Resistance(Ohm)')
grid ON
```

Δημιουργία γραφήματος

Λύνοντας την εξίσωση  $R_{TH} = R_{REF} e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right)}$  ως προς T βρίσκουμε

$$T = \frac{B}{\ln \frac{R}{R_0 e^{\left( \frac{B}{T} \right)}}$$



```

Command Window
Δώστε την τιμή της αντίστασης R1(Ohm): 25000
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T1(Celsius): 5
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R2 (Ohm): 10000
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T2(Celsius): 25
-----
Δώστε την τιμή της αντίστασης R3 (Ohm): 4000
Δώστε την τιμή της θερμοκρασίας T3(Celsius): 50

X =
    2.180393269982043e-004
    3.739655186952937e-004
   -3.946833012358458e-007

cfB =
    3.799418876357894e+003
    
```

**Εφαρμογή του κώδικα**

Σύγκριση αποτελεσμάτων με το ελεύθερο λογισμικό *Thermistor Calculator*

<http://www.thinksrs.com/downloads/programs/Therm%20Calc/NTCCalibrator/NTCCalculator.htm>

Εύρεση συντελεστών A, B και C

Τιμές εισόδου

Το αποτέλεσμα της παραμέτρου β

**SRS Thermistor Calculator v1.1**  
for Laser Diode and TEC Controllers  
by Stanford Research Systems Inc

Please input resistance-temperature pairs:  
(Don't use the Enter key)

R (Ω)	T (°C)
R1: 25000	T1: 5
R2: 10000	T2: 25
R3: 4000	T3: 50

Calculated Steinhart-Hart model coefficients:

A = 0.2180393270	e-3
B = 3.739655187	e-4
C = -3.946833012	e-7

Calculated β model coefficients:  
(R3 and T3 are not used)

R(25°C) = 10000.00	Ω
β = 3799.42	K

**Model Calculator**  
(The coefficients shown on the left are used)

R(Ω)	T(°C)	Model
10000	25.0000	S-H model
25.0000	10000	β model